

С. А. БАЖАНОВ

КАК РАБОТАЕТ РАДИОЛАМПА. КЛАССЫ УСИЛЕНИЯ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Сетевые лампы

Основное обозначение	Другие обозначения	Тип	Накал		Напряж. на аноде	Напряж. на экранной сетке	Напряж. смещения	Анодный ток	Ток экр. сетки	Крутизна	Коэф. усиления	Внутр. сопротивление	Сопротивление нагрузки	Выходная мощность	Макс.-доп. мощность рассеяния на аноде	Емкость анод—упр. сетка
			напряжение	ток												
			в	*а*	*в*	*в*	*в*	*ма*	*ма*	*ма/в*	—	*ом*	*ом*	$P_{вых}$	P_a	*мкмкф*
6А8	—	Гептод-преобразователь	6,3	0,3	250	100	−3,0	3,5	2,7	S =0,55	—	350 000	—	—	1,0	0,06
6Б8М	6B8	Двойной диод-пентод	6,3	0,3	250	125	−3,0	9,0	2,3	1,12	—	600 000	—	—	2,5	0,005
6Г7	6Q7	Двойной диод-триод	6,3	0,3	250	—	−3,0	1,1	—	1,2	70	58 000	—	—	2,0	1,5
6Д1М	6K8, 6K8C	Триод-гексод	6,3	0,3	250	100	−3,0	2,5	6,0	S_c=0,3	—	400 000	—	—	0,5	0,05
6Е5	—	Электронный индикатор	6,3	0,3	250	—	−8,0(0°)	0,25	—	—	—	—	—	—	—	3,5
6Ж2М	1 851	Телевизионный пентод	6,3	0,45	300	150	−1,5	10,0	2,5	9,0	—	750 000	—	—	3,0	0,02
6Ж3М	1 853	То же	6,3	0,45	300	200	−3,0	12,5	3,2	5,0	—	700 000	—	—	3,0	0,02
6Ж7	6J7	Пентод вч	6,3	0,3	250	100	−3,0	2,0	0,5	1,2	—	1 000.10³	—	—	0,75	0,006
6К7	—	Пентод вч варимю	6,3	0,3	250	125	−3,0	10,5	2,6	1,65	—	600 000	—	—	2,25	0,005
6Л7	6L7	Гептод-смеситель	6,3	0,3	300	100	−3,0	2,4	7,1	S_c=0,38	—	600 000	—	—	1,75	0,005
6Л6	6L6	Лучевой тетрод	6,3	0,9	250	250	−14,0	72,0	5,0	6,0	135	22 500	2 500	6,5	20	0,4
6Л6С	6L6-G	То же	6,3	0,9	250	250	−14,0	72,0	5,0	6,0	135	22 500	2 500	6,5	20,5	0,5
6Н7	6N7	Двойной триод	6,3	0,8	300	—	0	18,0	—	3,2	24	—	8 000	10,0	12	2,4
6П3С	—	Лучевой тетрод	6,3	0,9	250	250	−14,0	72,0	5,0	6,0	150	25 000	2 500	5,5	20,5	1,0
6Р7	6R7	Двойной диод-триод	6,3	0,3	250	—	−9,0	9,5	—	1,9	16	8 500	—	—	2,0	2,0
6С5	—	Триод	6,3	0,3	250	—	−8,0	8,0	—	2,0	20	10 000	—	—	2,6	2,0
6Ф5	6F5	Триод	6,3	0,3	250	—	−2,0	0,9	—	1,5	100	66 000	—	—	0,4	2,0
6Ф5М	—	То же	6,3	0,3	250	—	−2,0	0,9	—	1,5	100	66 000	—	—	0,4	2,6
6Ф6	6F6	Оконечный пентод	6,3	0,7	250	250	−16,5	34,0	7,0	2,5	—	78 000	7 000	3,2	10	0,6
6Ф6М	—	То же	6,3	0,7	250	250	−16,5	34,0	7,0	2,5	—	78 000	7 000	3,2	10	—
6Ф6С	6F6G	То же	6,3	0,7	250	250	−16,5	34,0	7,0	2,5	—	78 000	7 000	3,2	10	—
6Х6	6H6	Двойной диод	6,3	0,3	117_{max}	—	—	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Лампы 4-вольтовой серии																
УО-104	—	Оконечный триод	4,0	0,7	240	—	−35,0	40,0	—	3,2	4	1 250	2 500	1,5	12,0	10[illegible]
СО-118	4H4C	Триод	4,0	1,0	240	—	−3,0	6,0	—	1,75	34	20 000	—	—	2,0	2,6
ПО-119	—	Триод	4,0	1,0	240	—	−10,0	12,0	—	1,7	12	7 000	—	—	5,0	2,0
СО-122	4Ф5С	Оконечный пентод	4,0	1,0	240	140	−12,0	19,0	7,0	1,7	120	70 000	20 000	1,0	4,0	0,35
СО-124	4Ж5С	Тетрод вч	4,0	1,0	160	80	−1,5	10,0	3,0	1,9	350	185 000	—	—	—	0,005
СО-148	4К5С	Тетрод вч варимю	4,0	1,0	160	60	−1,0	7,5	1,5	1,6	320	200 000	—	—	—	0,005
СО-182	—	Пентод вч варимю	4,0	1,0	160	80	−1,5	4,2	1,4	2,25	1500	700 000	—	—	—	0,008
СО-183	—	Гептод-преобразователь	4,0	1,0	240	100	−2,0	4,0	8,0	2,6	—	125 000	—	—	—	0,25
СО-185	—	Двойной диод-триод	4,0	1,0	240	—	−4,0	5,0	—	1,5	35	24 000	—	—	—	2,2
УО-186	—	Оконечный триод	4,0	1,0	250	—	−37,0	57,0	—	3,2	4	1 200	3 000	1,5	15	8,2
СО-187	—	Оконечный пентод	4,0	2,0	250	250	−6,0	37,5	10,0	7,5	600	90 000	7 000	2,5	15	1,0
СО-193	—	Двойной диод-пентод	4,0	1,0	240	120	−6,0	7,0	1,2	2,0	300	150 000	—	—	5,0	0,18
Лампы с высоковольтным катодом																
15А6С	—	Оконечный пентод	15	0,3	180	135	−20,0	48,0	6,0	2,5	—	30 000	5 000	2,0	—	—
25П1С	25L6G	Оконечный лучевой тетрод	25	0,3	110	110	−7,5	45,0	4,0	8,5	—	10 000	2 000	2,2	10,0	—
30П1М	—	Оконечный лучевой тетрод	30	0,3	110	110	−7,5	45,0	4,0	8,5	—	10 000	2 000	2,2	10,0	—

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

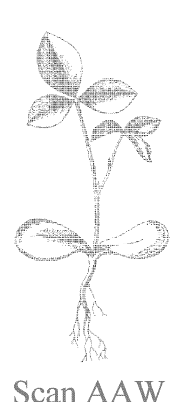
Выпуск 1

С. А. БАЖАНОВ

КАК РАБОТАЕТ РАДИОЛАМПА.

КЛАССЫ УСИЛЕНИЯ

Одобрено Центральным Советом Союза Осоавиахим СССР для радиоклубов и радиокружков



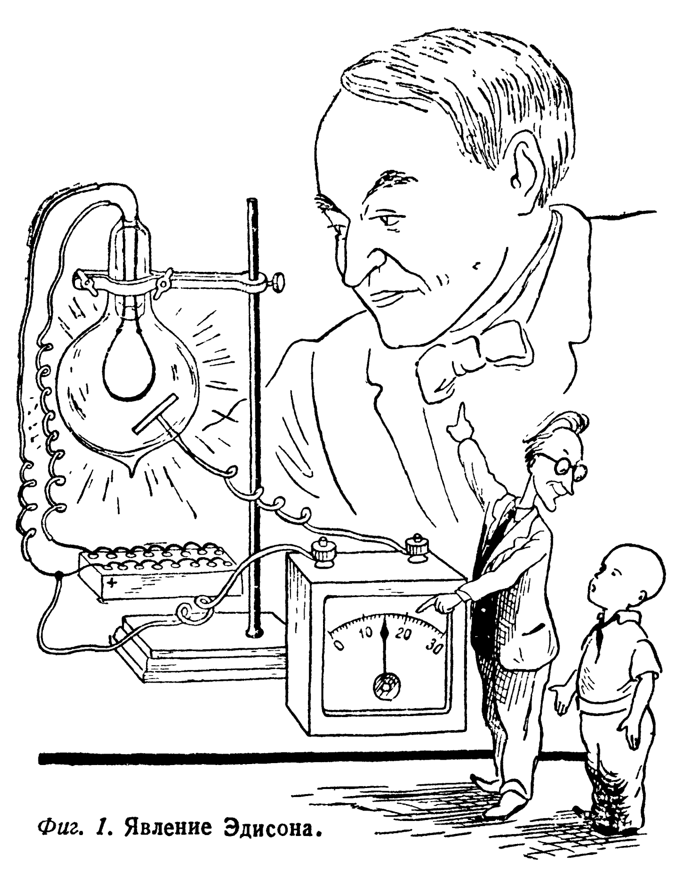


ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1947 ЛЕНИНГРАД

I. КАК РАБОТАЕТ РАДИОЛАМПА

Ознакомление с историей изобретения радиолампы возвращает нас к 1881 г., когда известный изобретатель Томас Эдисон обнаружил явление, положенное впоследствии в основу действия почти каждой радиолампы. Занимаясь опытами, целью которых было улучшение первых электрических ламп, Эдисон ввел внутрь стеклянной колбы лампы металлическую пластинку, расположив ее поблизости от накаливаемой угольной нити. Эта пластинка совершенно не соединялась с нитью внутри колбы (фиг. 1). Металлический стержень, на котором держалась пластинка, проходил сквозь стекло наружу. Чтобы нить не перегорела, воздух из колбы лампы был выкачан. Изобретатель был весьма удивлен, заметив отклонение стрелки электроизмерительного прибора, включенного в проводник, соединяющий между собой металлическую пластинку с положительным полюсом (плюсом) батареи накала нити. Исходя из обычных по тому времени представлений, нельзя было ожидать появления тока в цепи «пластинка—соединительный провод — плюс батареи», так как эта цепь незамкнута. Тем не менее ток по цепи проходил. Когда же соединительный провод приключили не к плюсу, а к минусу батареи, ток в цепи пластинки прекращался. Эдисон не смог дать объяснения открытому им явлению, которое вошло в историю радиолампы под названием эффекта Эдисона.

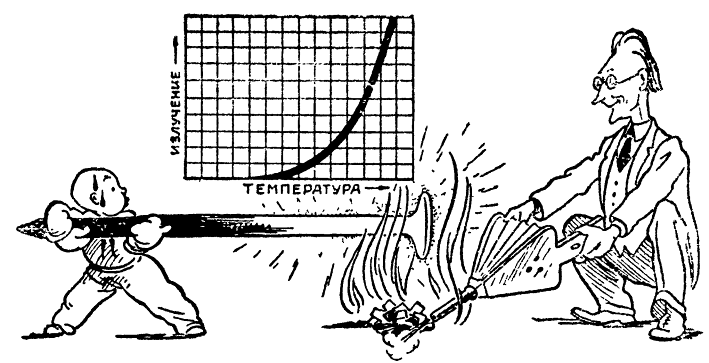
Объяснение эффекту Эдисона было дано гораздо позже, уже после того, как в 1891 г. Стонеем и Томсоном были открыты электроны — мельчайшие отрицательные заряды электричества. В 1900—1903 гг. Ричардсон предпринял научные исследования, результатом которых явилось опытное и теоретическое подтверждение вывода Томсона о том, что раскаленная поверхность проводников испускает, эмиттирует электроны. Оказалось, что способ нагревания проводника безразличен: раскаленный на горящих углях гвоздь эмиттирует электроны (фиг. 2) так же, как и накаливаемая электриче-



Фиг. 1. **Явление Эдисона.**

ским током нить электрической лампы. Чем выше температура, тем более интенсивна электронная эмиссия. Ричардсон глубоко исследовал электронную эмиссию и предложил формулы для расчета количества эмиттируемых электронов Им же было установлено, что будучи нагретыми до одинаковой температуры, разные проводники эмиттируют электроны в различной степени, что было приписано структурным свойствам этих проводников, т. е. особенностям их внутреннего строения. Повышенными эмиссионными свойствами отличаются цезий, натрий, торий и некоторые другие металлы. Этим впоследствии воспользовались при конструировании интенсивных эмиттеров электронов.

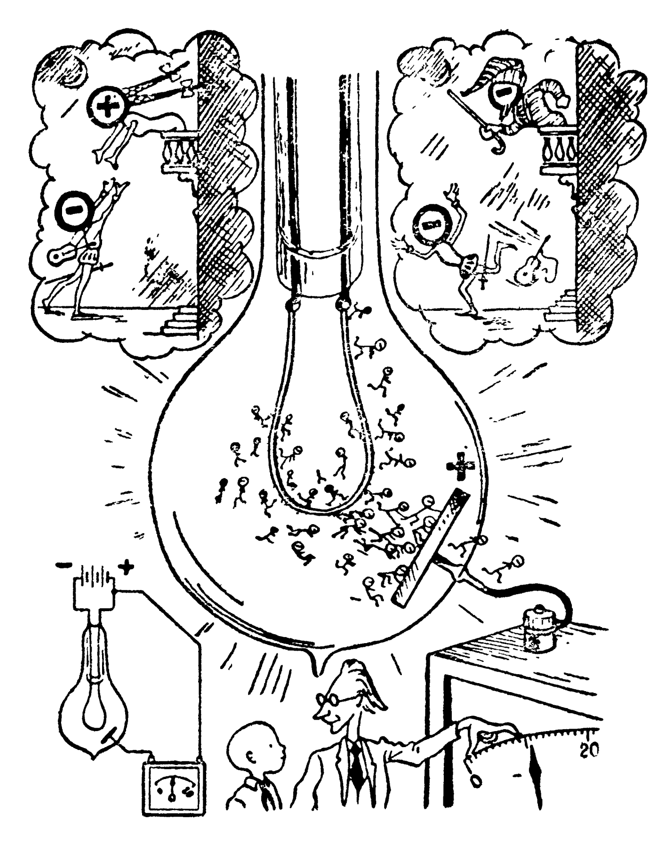
Однако, установление одного лишь факта существования электронной эмиссии с поверхности раскаленных проводни-



Фиг. 2. Накаленный гвоздь эмиттирует электроны.

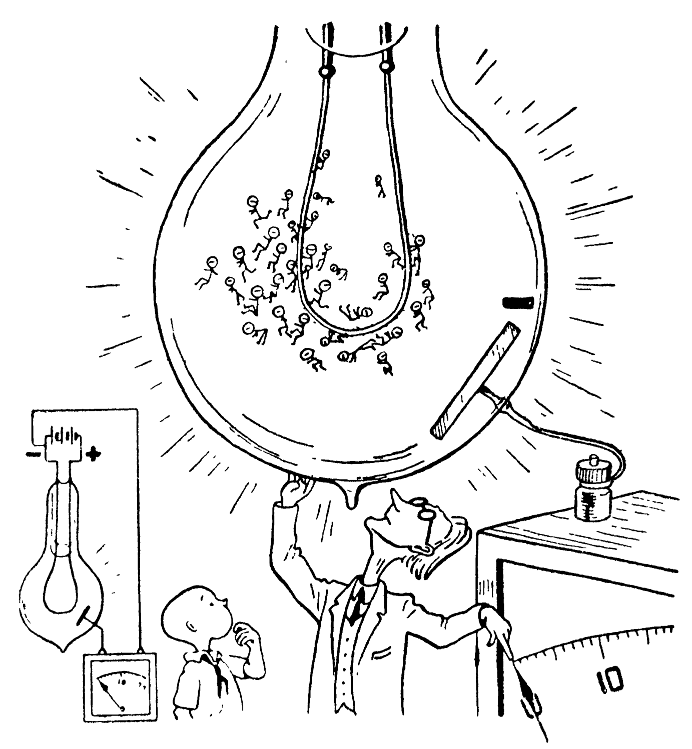
ков (такая эмиссия называется термоионной или термоэлектронной) не объясняет еще появления тока в цепи пластинки лампы Эдисона. Но все становится совершенно понятным, если вспомнить два обстоятельства: 1) разноименные электрические заряды стремятся притянуться, а одноименные — оттолкнуться; 2) поток электронов образует собой электрический ток тем большей силы, чем большее количество электронов перемещается (фиг. 3). Пластинка, соединяемая с плюсом батареи накала лампы, заряжается положительно и потому притягивает к себе электроны, заряд которых отрицателен. Таким образом, кажущийся разрыв цепи внутри лампы оказывается замкнутым и в цепи устанавливается электрический ток, который проходит через электроизмерительный прибор. Стрелка прибора отклоняется.

Если пластинку зарядить по отношению к нити отрицательно (это именно и получается, когда она присоединена к минусу батареи накала), то она будет отталкивать от себя электроны. Хотя раскаленная нить и будет попрежнему эмиттировать электроны, но на пластинку они не попадут. Никакого тока в цепи пластинки не возникнет, и стрелка прибора покажет нуль (фиг. 4). Раскаленная нить окажется окруженной со всех сторон большим количеством беспрерывно эмиттируемых нитью и вновь к ней возвращающихся электронов. Это «электронное облако» вокруг нити создает отрицательный пространственный заряд, который препятствует вылету из нити электронов. Устранить пространственный заряд («рассосать электронное облако») можно действием положительно заряженной пластинки. По мере увеличения положительного заряда притягивающая



Фиг. 3. Положительный электрод притягивает электроны, — в цепи: нить лампы — пластинка — батарея—проходит ток.

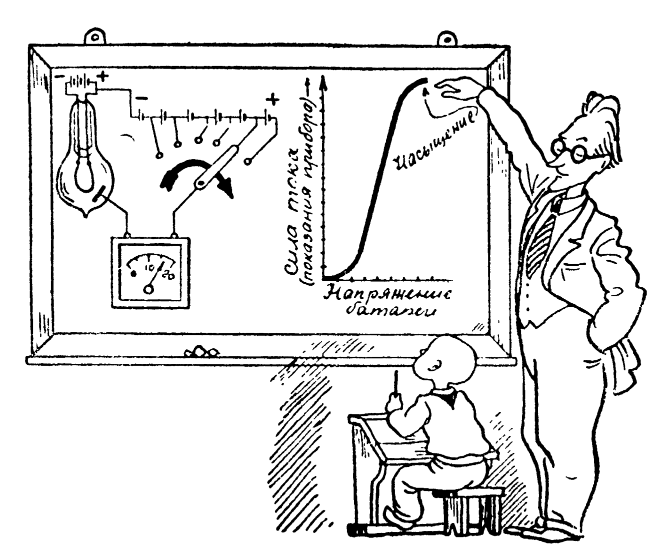
электроны сила пластинки возрастает, все большее и большее количество электронов покидает «облако», направляясь к пластинке. Пространственный отрицательный заряд вокруг нити уменьшается. Ток в цепи пластинки возрастает. Стрелка прибора отклоняется по шкале в сторону бо́льших показаний. Таким образом **ток в цепи пластинки можно менять изменением положительного заряда пластинки.** Это — вторая возможность увеличения тока. О первой возможности мы уже знаем: чем выше температура раскаленной нити, тем сильнее эмиссия. Однако, повышать температуру нити можно лишь до известных пределов, после которых возникает опасность перегорания нити.



Фиг. 4. Отрицательный электрод отталкивает электроны, — в цепи: нить лампы — пластинка — батарея — тока нет.

Но и повышение положительного заряда на пластинке также имеет пределы. Чем сильнее этот заряд, тем больше скорости летящих к пластинке электронов. Получается электронная бомбардировка пластинки. Хотя энергия удара каждого электрона и мала, но электронов много, и от ударов пластинка может сильно накалиться и даже расплавиться.

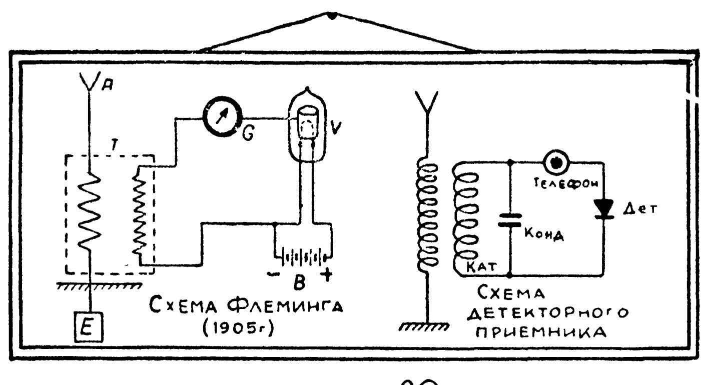
Увеличение положительного заряда пластинки достигается включеним в ее цепь батареи с большим напряжением, причем плюс батареи присоединяется к пластинке, а минус — к нити (к положительному полюсу накальной батареи, фиг. 5). Оставляя температуру нити неизменной, т. е. поддерживая неизменным напряжение накала, можно определить характер изменения тока в цепи пластинки в зависимости от изменения напряжения «пластиночной» батареи. Эту зависимость принято выражать графически построением линии, плавно соединяющей точки, соответствующие показа-

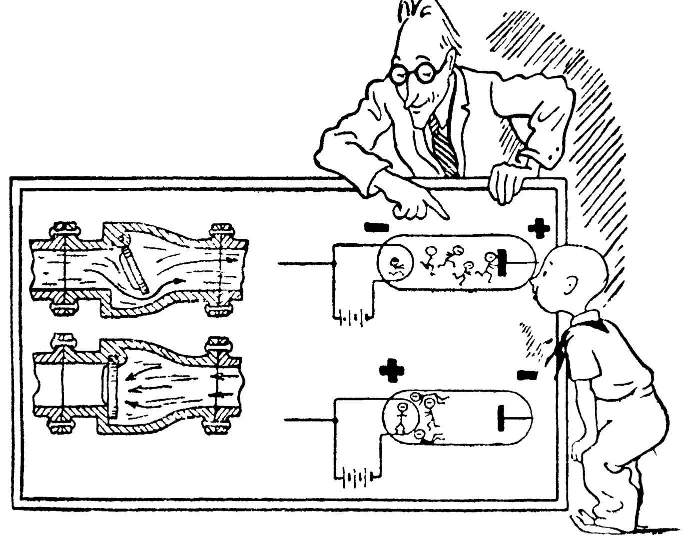


Фиг. 5. Как изменяется ток в цепи пластинки в зависимости от напряжения в этой цепи.

ниям прибора. По горизонтальной оси слева направо обычно откладываются возрастающие значения положительного напряжения на пластинке, а по вертикальной оси снизу вверх — возрастающие значения тока в цепи пластинки. Полученный график (характеристика) говорит о том, что зависимость тока от напряжения получается пропорциональной только в ограниченных пределах. По мере увеличения напряжения на пластинке ток в ее цепи возрастает сначала медленно, потом быстрее и затем равномерно (линейный участок графика). Наконец, наступает такой момент, когда возрастание тока прекращается. Это — насыщение: ток не может стать больше: все электроны, эмиттируемые нитью, полностью использованы. «Электронное облако» исчезло.

Цепь пластинки лампы обладает свойством одностороннего пропускания электрического тока. Эта односторонность определяется тем, что электроны («переносчики тока») могут проходить в такой лампе только в одном направлении: от раскаленной нити к пластинке. Джону Флемингу, когда он в 1904 г. занимался опытами по приему сигналов беспроволочного телеграфа, необходим был детектор — прибор с односторонним пропусканием тока. Флеминг применил в качестве детектора электронную лампу.





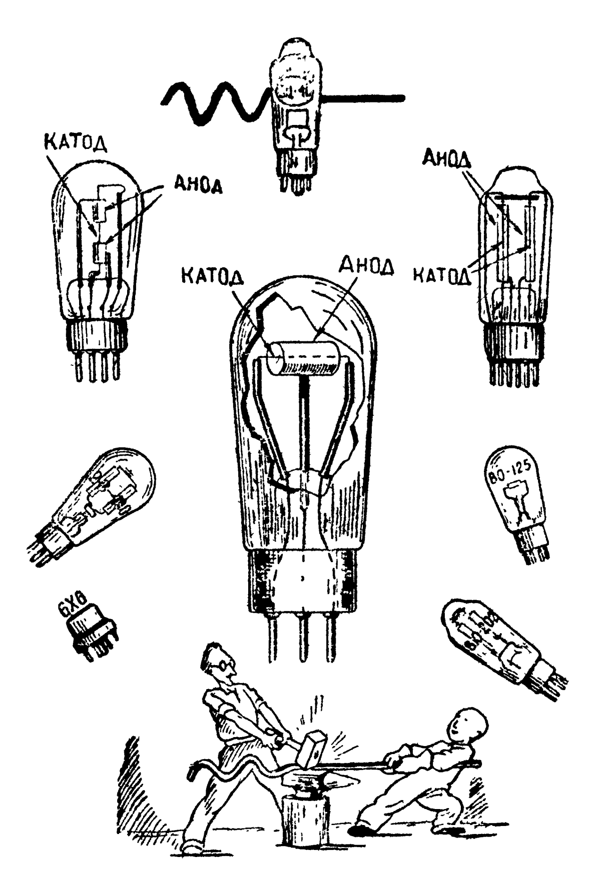
Фиг. 6. Принцип действия детектора.

Так эффект Эдисона был впервые практически применен в радиотехнике. Техника обогатилась новым достижением — «электрическим клапаном». Интересно сопоставить две схемы: схему приемного устройства Флеминга, опубликованную в 1905 г., и современную схему простейшего приемника с кристаллическим детектором. Эти схемы по существу мало чем отличаются одна от другой. Роль детектора в схеме Флеминга выполнял «электрический клапан» (вентиль). Именно этот «клапан» и явился первой и простейшей радиолампой (фиг. 6). Так как «клапан» пропускает ток лишь при положительном напряжении на пластинке, а электроды, соединяемые с

плюсом источников тока, называются **анодами**, то именно такое название и дано пластинке, какую бы форму (цилиндрическую, призматическую, плоскую) ей ни придали. Нить, присоединяемая к минусу анодной батареи («пластиночной батареи», как мы ее именовали ранее), называется **катодом**.

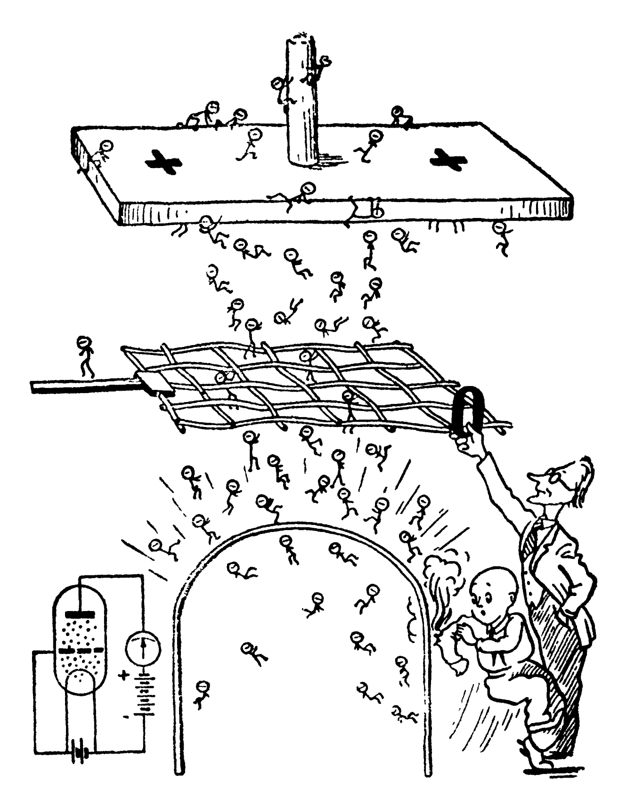
«Клапаны» Флеминга широко применяются и поныне, но носят другие названия. В каждом современном радиоприемнике с питанием от сети переменного тока имеется устройство, преобразовывающее переменный ток в необходимый для приемника постоянный ток. Это преобразование осуществляется посредством «клапанов», называемых **кенотронами**. Устройство кенотрона в принципе совершенно такое же, как и прибора, в котором Эдисон наблюдал впервые явление термоэлектронной эмиссии: колба, из которой выкачан воздух, анод и накаливаемый электрическим током катод. Кенотрон, пропуская ток лишь одного направления, преобразовывает переменный ток (т. е. ток, попеременно меняющий направление своего прохождения) в ток постоянный, проходящий все время в одном направлении. Процесс преобразования кенотронами переменного тока в постоянный получил название **выпрямления**, что следует, видимо, объяснить формальным признаком: график переменного тока обычно имеет форму волны (синусоиды), тогда как график постоянного тока — прямая линия. Получается как бы «выпрямление» волнистого графика в прямолинейный (фиг. 7). Полное устройство, служащее для выпрямления, называется **выпрямителем**.

Общее название для всех радиоламп с двумя электродами — анодом и катодом (нить хотя и имеет два вывода из колбы, но представляет собой один электрод) — **двухэлектродная лампа** или — сокращенно — **диод**. Диоды применяются не только в выпрямителях, но и в самих радиоприемниках, где они выполняют функции, относящиеся непосредственно к приему радиосигналов. Таким диодом, в частности, является лампа типа 6Х6, у которой в общей колбе помещено два независимых друг от друга диода (такие лампы называются двойными диодами или дубль-диодами). Кенотроны часто имеют не один, а два анода, что объясняется особенностями схемы выпрямителя. Аноды либо располагаются около общего катода вдоль нити, либо каждый анод окружает отдельный катод. Примером одноанодного кенотрона является лампа типа ВО-230, а двуханодных — лампы 2-В-400, 5Ц4С, ВО-188 и др. График, выражающий зависимость анодного тока диода от напряжения на аноде, называется **характеристикой диода**.



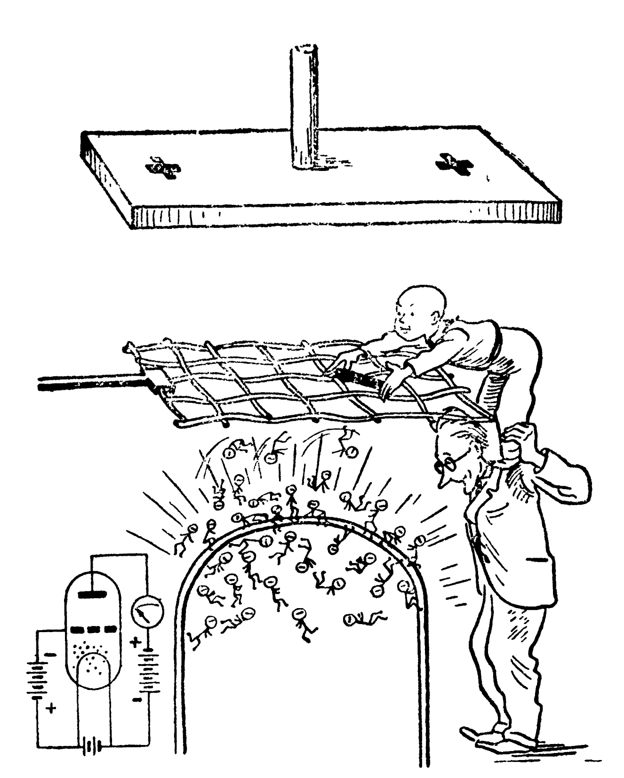
Фиг. 7. Разные типы диодов.

В 1906 г. Ли де-Форест поместил в пространство между катодом и анодом третий электрод в виде проволочной сетки. Так была создана трехэлектродная лампа (триод) — прототип почти всех современных радиоламп. Название «сетка» сохранилось за третьим электродом и поныне, хотя в настоящее время он далеко не всегда имеет вид сетки. Внутри лампы сетка не соединяется ни с каким другим электродом. Проводник от сетки выведен из колбы наружу. Включая между выводным проводником сетки и выводом катода (нити) сеточную батарею, можно заряжать сетку положительно или отрицательно относительно катода в зависимости от полярности включения батареи.



Фиг. 8. Между сеткой и катодом нет напряжения: сетка не мешает электронам проходить к аноду.

Когда положительный полюс (плюс) сеточной батареи присоединен к сетке, а отрицательный полюс (минус) — к катоду, сетка приобретает положительный заряд и тем больший, чем больше напряжение батареи. При обратном включении батареи сетка заряжается отрицательно. Если проводник сетки непосредственно соединить с катодом (с каким-либо выводом нити), то сетка приобретает такой же потенциал, какой имеет катод (более точно — какой имеет та точка цепи накала, к которой присоединяется сетка). Можно считать, что при этом сетка получает нулевой потенциал относительно катода, т. е. заряд сетки равен нулю. Находясь под нулевым напряжением, сетка почти не влияет на поток устремляющихся к аноду электронов (фиг. 8). Основная их масса проходит сквозь отверстия сетки (соотношение между



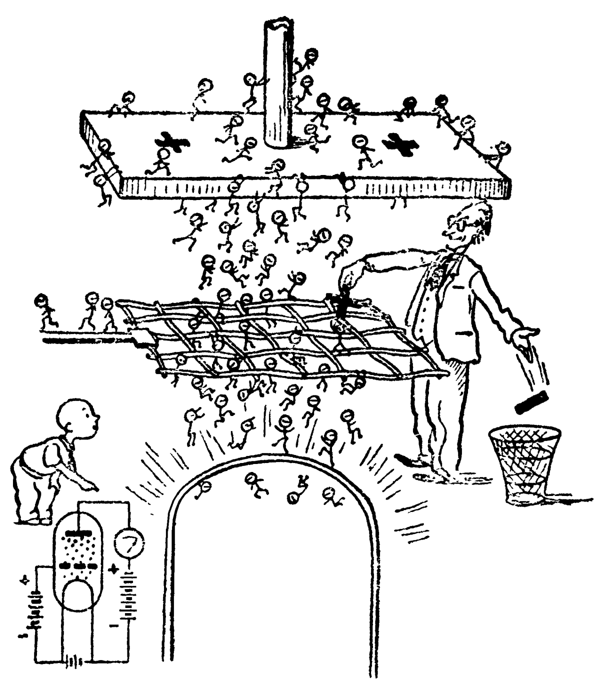
Фиг. 9. Отрицательный заряд сетки отталкивает электроны к катоду и мешает им проходить к аноду.

размерами электронов и отверстиями сетки приблизительно таково, как между размерами человека и расстояниями между небесными телами), но некоторая часть электронов все же может попасть на сетку. Отсюда эти электроны по проводнику направятся к катоду, образуя **сеточный ток.**

Получив заряд того или иного знака (плюс или минус), сетка начинает активно вмешиваться в электронные процессы внутри лампы. Когда **заряд отрицателен, то сетка стремится оттолкнуть от себя электроны,** имеющие заряд такого же знака. А так как сетка расположена на пути прохождения электронов от катода к аноду, то отталкиванием сетка будет возвращать электроны обратно к катоду (фиг. 9). Если постепенно увеличивать отрицательный заряд сетки, то отталкивающее действие будет возрастать, вследствие чего при неизменном положительном

напряжении на аноде и неизменном напряжении накала нити анод будет получать все меньшее количество электронов. Иначе говоря, анодный ток будет уменьшаться. При некотором значении отрицательного заряда на сетке анодный ток может даже совершенно прекратиться — все электроны будут возвращены обратно к катоду, несмотря на то, что анод имеет положительный заряд. Сетка своим зарядом будет преодолевать действие заряда анода. А так как сетка находится ближе к катоду, чем анод, то ее влияние на поток электронов значительно сильнее. Достаточно изменить лишь немного напряжение на сетке, чтобы анодный ток изменился очень сильно. Такое же изменение анодного тока можно, конечно, получить и за счет изменения анодного напряжения, оставив напряжение на сетке неизменным. Однако, для получения точно такого же изменения тока в цепи анода потребуется значительное изменение анодного напряжения. В современных триодах изменение сеточного напряжения на один-два вольта вызывает такое же изменение анодного тока, как и изменение анодного напряжения на десятки и даже сотни вольт.

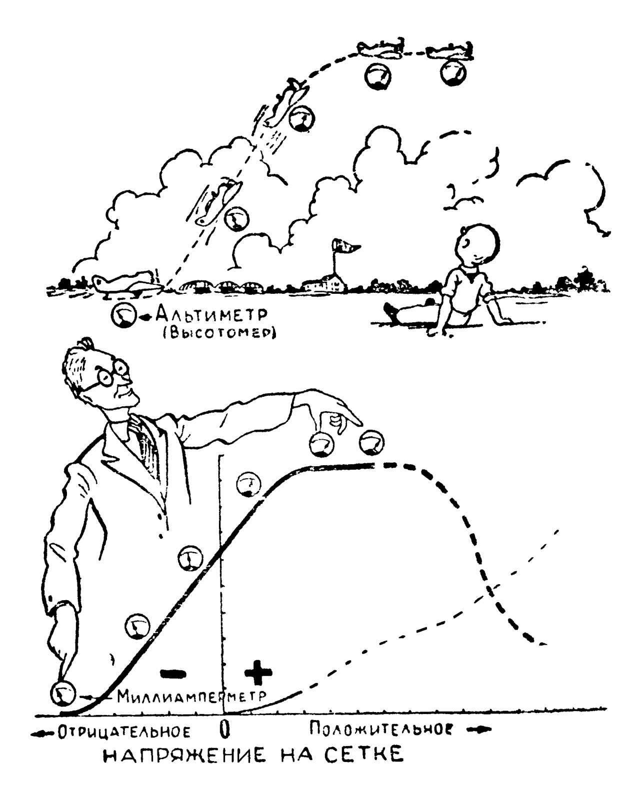
Положительно заряженная сетка не отталкивает, а притягивает к себе электроны, тем самым ускоряя их пробег (фиг. 10). Если постепенно увеличивать положительное напряжение на сетке, начиная от нуля, то можно наблюдать следующее. Сначала сетка будет как бы помогать аноду: вылетая из раскаленного катода, электроны испытают более сильное ускоряющее воздействие. Основная масса электронов, направляясь к аноду, по инерции пролетит сквозь отверстия в сетке и попадет в «засеточном пространстве» в поле усиленного напряжения анода. Эти электроны попадут на анод. Но некоторая часть электронов попадает непосредственно на сетку и образует сеточный ток. Затем при возрастании положительного заряда сетки сеточный ток будет увеличиваться, т. е. все большее количество электронов от общего электронного потока будет задерживаться сеткой. Но и анодный ток будет увеличиваться, так как скорости электронов возрастают. Наконец, вся эмиссия будет полностью использована, пространственный заряд вокруг катода уничтожится, и анодный ток перестанет возрастать. Наступит насыщение, эмиттированные электроны разделятся между анодом и сеткой, причем бо́льшая их часть придется на долю анода. Если еще больше увеличивать положительное напряжение на сетке, то это приведет к возрастанию сеточного тока, но исключительно за счет уменьшения тока анода: сетка будет перехватывать все большее количе-



Фиг. 10. Положительный заряд сетки притягивает электроны и помогает им проходить к аноду.

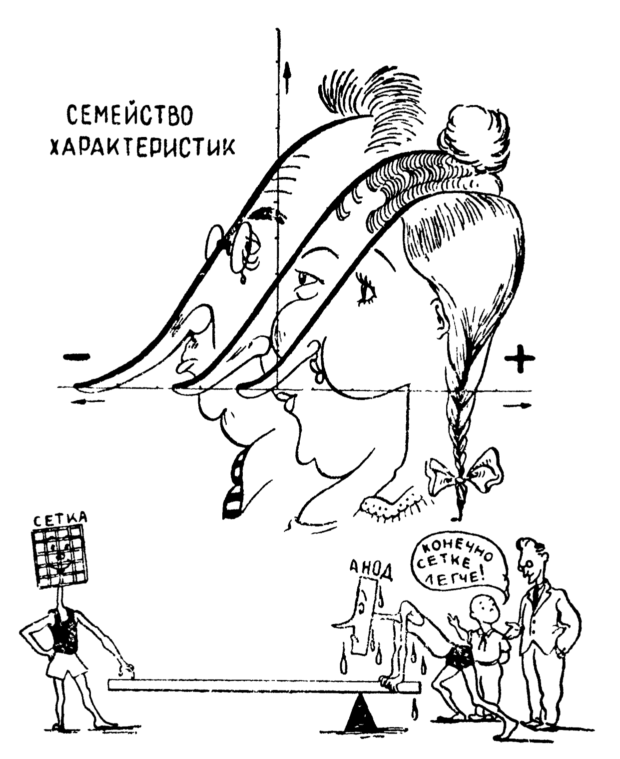
ство электронов из направляющегося к аноду потока их. При очень больших положительных напряжениях на сетке (бо̀льших, чем напряжение на аноде) сеточный ток может даже превысить анодный ток, сетка может «перехватить» у анода все электроны. Анодный ток уменьшится до нуля, а сеточный возрастет до максимума, равного току насыщения лампы. Все эммитируемые нитью электроны попадают на сетку.

Характерные свойства трехэлектродных ламп наглядно отображаются графиком зависимости анодного тока от напряжения на сетке при неизменном положительном напряжении на аноде· Этот график называется характеристикой лампы (фиг. 11). При некотором отрицательном напряжении на сетке анодный ток совершенно прекращается; этот момент отмечен на графике слиянием нижнего конца характеристики с горизонтальной осью, вдоль которой отложены величины напряжений на сетке. В этот момент лампа «заперта»: все электроны возвращаются сеткой обратно на катод. Сетка преодолевает действие анода. Анодный ток равен нулю. При уменьшении отрицательного заряда сетки (движение по



Фиг. 11. Характеристика триода.

горизонтальной оси вправо) лампа «отпирается»: появляется анодный ток, сначала слабый, а потом все более быстро возрастающий. График устремляется кверху, отдаляясь от горизонтальной оси. Момент, когда заряд сетки доведен до нуля, на графике отмечен пересечением характеристики с вертикальной осью, вдоль которой от нуля кверху отложены величины анодного тока. Начинаем постепенно увеличивать положительный заряд на сетке, вследствие чего анодный ток продолжает возрастать и, наконец, достигает максимального значения (ток насыщения), при котором характеристика загибается и далее становится почти горизонтальной. Вся эмиссия электронов полностью использована. Дальнейшее увеличение положительного заряда сетки приведет лишь к перераспределению электронного потока: все большее количество электронов будет задерживаться сеткой и, соответственно, меньшее



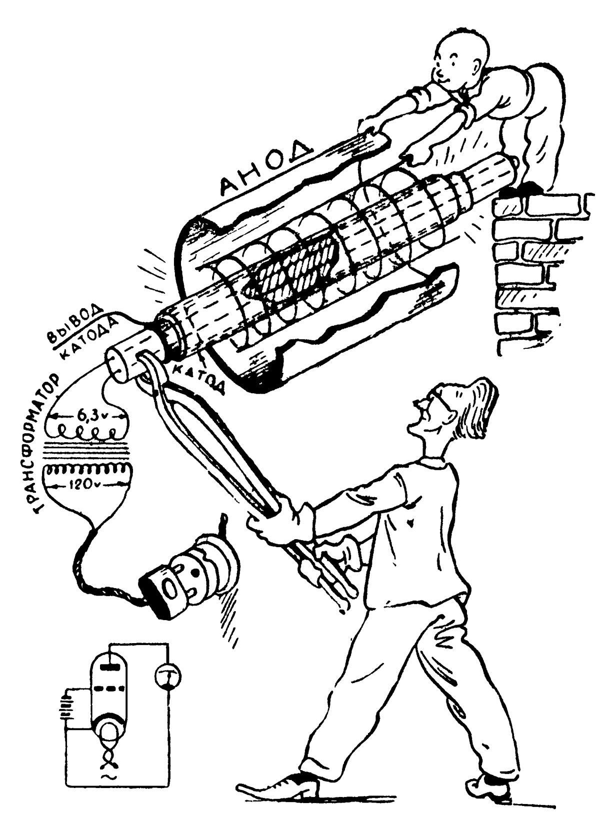
Фиг. 12. Чем выше анодное напряжение, тем левее сдвинута характеристика.
Иллюстрация коэффициента усиления лампы.

их количество придется на долю анода. Обычно радиолампы не работают при столь больших положительных напряжениях на сетке, и поэтому пунктирный участок характеристики анодного тока можно не рассматривать. Обратите внимание на характеристику, начинающуюся в точке пересечения осей. Это — характеристика сеточного тока. Отрицательно заряженная сетка не притягивает к себе электроны, и ток сетки равен нулю. При возрастании положительного напряжения на сетке ток в ее цепи, как показывает график, увеличивается.

До сих пор мы предусматривали постоянство напряжения на аноде. Но при увеличении этого напряжения анодный ток возрастает, а при понижении — уменьшается. Это приводит к необходимости снимать и, следовательно, вычерчивать не одну характеристику, а несколько — по одной для каждого выбранного значения анодного напряжения. Так получается

семейство характеристик (фиг. 12), в котором характеристики, соответствующие более высоким анодным напряжениям, располагаются выше, левее. На большей части своей длины характеристики оказываются параллельными. Итак, есть две возможности влиять на величину анодного тока: изменением напряжения на сетке и изменением напряжения на аноде. Первая возможность требует меньших изменений, так как сетка находится ближе к катоду, чем анод, и поэтому изменения ее потенциала значительно сильнее влияют на электронный ток. Числовой коэффициент, указывающий, во сколько раз влияние сетки при совершенно одинаковых условиях больше влияния анода, называется коэффициентом усиления лампы. Предположим, что увеличение анодного напряжения на 20 *в* оказывает на анодный ток такое же влияние, как изменение сеточного напряжения всего лишь на 1 *в*. Это значит, что конструкция данной лампы такова, что в ней влияние сетки на анодный ток в 20 раз сильнее влияния анода, т. е. коэффициент усиления лампы равен 20. Зная величину коэффициента усиления, можно оценить усилительные свойства лампы, определить, во сколько раз более сильные колебания электрического тока возникнут в анодной цепи, если к сетке подвести относительно слабые электрические колебания. Только введение сетки в лампу позволило создать прибор, усиливающий электрические колебательные токи: диоды, рассмотренные нами ранее, усилительными свойствами не обладают. Существенное значение при оценке свойства лампы имеет крутизна (наклон) характеристики. Лампа с большой крутизной весьма чувствительна к изменениям напряжения на сетке: достаточно изменить сеточное напряжение в очень малой степени, чтобы анодный ток изменился в значительных пределах: Количественно крутизна оценивается величиной изменения анодного тока в миллиамперах при изменении сеточного напряжения на 1 вольт.

Катод в радиолампе представляет собой накаливаемую током тонкую металлическую проволоку (нить). Если накал такой нити осуществлять постоянным током, то и эмиссия электронов будет строго постоянна. Но почти все современные радиовещательные приемники рассчитаны на питание от переменного тока, а таким током накаливать нить нельзя, так как эмиссия электронов будет изменяться, «пульсировать». Из громкоговорителя будет слышен фон переменного тока — неприятное гудение, мешающее слушать программу. Конечно, можно было бы переменный ток сначала с помощью диода выпрямить, пре-



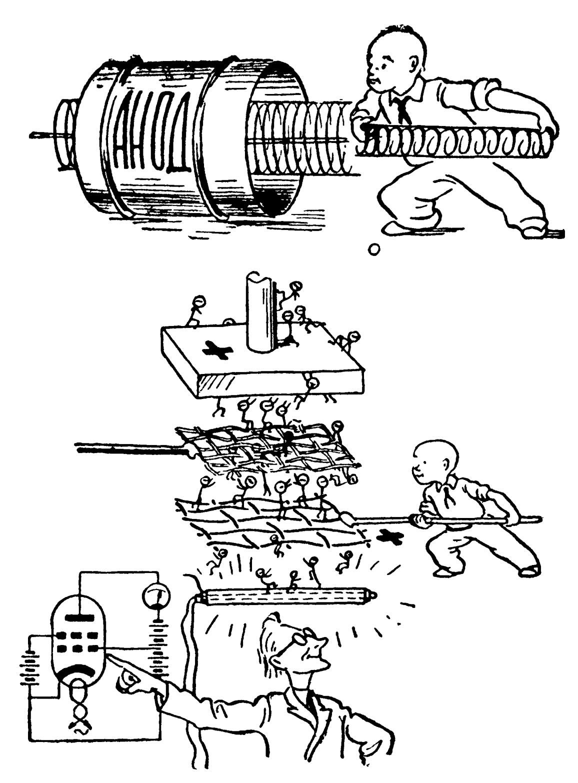
Фиг. 13. Устройство триода с подогревным катодом.

вратить в постоянный, как это и делается для питания анодных цепей — об этом мы уже говорили. Но найден гораздо более простой и более эффективный способ, позволяющий для нагрева катода применять непосредственно переменный ток. В каналах тонкого и длинного фарфорового цилиндрика помещена вольфрамовая нить — нагреватель. Нить накаливается переменным током и ее тепло передается фарфоровому цилиндрику и надетому поверх него никелевому «чехлу» (фиг. 13), на внешней поверхности которого нанесен тонкий слой окислов щелочного металла (стронция, бария. цезия или др.). Эти окислы отличаются большой эмиссионной способностью даже при сравнительно низких температурах (порядка 600 градусов). Именно этот слой окислов и является источником электронов, т. е. собственно катодом. Вывод ка-

тода из колбы присоединен к никелевому «чехлу», причем никакого электрического соединения между катодом и накаливаемой нитью нет. Все нагреваемое устройство обладает сравнительно большой массой, которая не успевает терять тепло при быстрых изменениях переменного тока. Благодаря этому эмиссия строго постоянна и никакого фона в приемнике не прослушивается. Но тепловая инерция катода ламп в приемнике является причиной того, что включенный приемник начинает работать не сразу, а лишь, когда катоды нагреются.

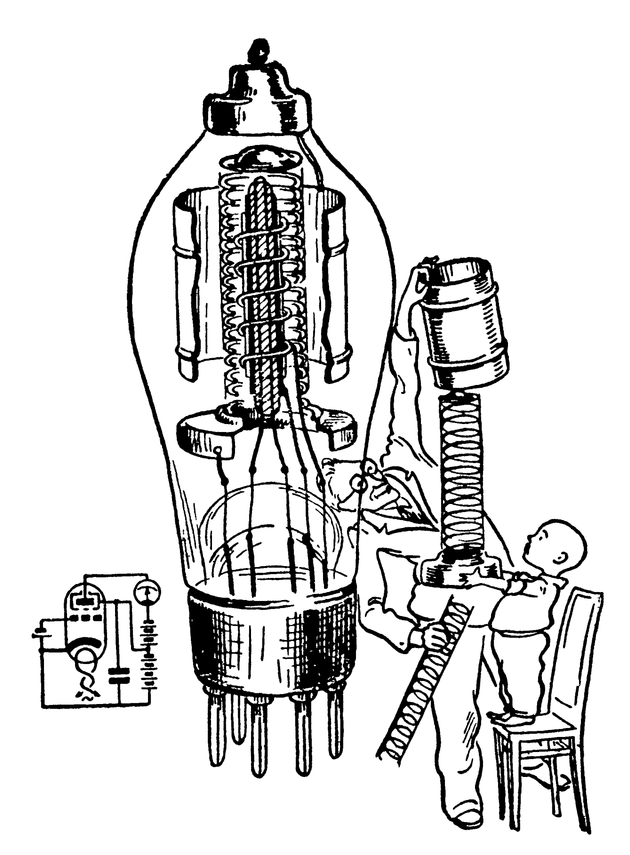
Сетки в современных лампах чаще всего имеют вид проволочных спиралей: «густая сетка» — витки спиралей расположены ближе друг к другу, «редкая сетка» — расстояния между витками увеличены. Чем гуще сетка, тем при прочих равных условиях больше ее влияние на поток электронов, тем больше коэффициент усиления лампы.

В 1913 г. Лэнгмюйр увеличил количество электродов в лампе до четырех, предложив ввести в пространство между катодом и сеткой еще одну сетку (фиг. 14). Так был создан первый тетрод — четырехэлектродная лампа, имеющая две сетки, анод и катод. Ту сетку, которую Лэнгмюйр поместил ближе к катоду, называют катодной, а «старую» сетку назвали управляющей, поскольку катодная сетка выполняет лишь вспомогательную роль. Своим небольшим положительным напряжением, получаемым от части анодной батареи, катодная сетка ускоряет поток электронов к аноду (отсюда и другое название сетке — ускоряющая»), «рассасывая» электронное облачко вокруг катода. Это позволило применить лампу даже при сравнительно малых напряжениях на аноде. Одно время нашей промышленностью выпускалась двухсеточная лампа типа МДС (или СТ-6), в паспорте которой значилось: рабочее анодное напряжение 8—20 *в*. Наиболее распространенные в то время лампы типа Микро (ПТ-2) обычно работали при гораздо более высоких напряжениях — порядка 100 *в*. Однако, лампы с катодной сеткой не получили распространения, так как вместо них вскоре были предложены еще более совершенные лампы. Кроме того, «двухсетки» имели существенный недостаток: положительно заряженная катодная сетка отнимала очень большое количество электронов от общего потока, что равносильно бесполезной их затрате. Хотя и прельщала возможность работать с малыми анодными напряжениями, но этому противопоставлялась большая трата тока, — ощутительной выгоды не получалось. Но введение второй сетки послужило сигналом для конструкторов радиоламп: началась «эпоха» многоэлектродных ламп.



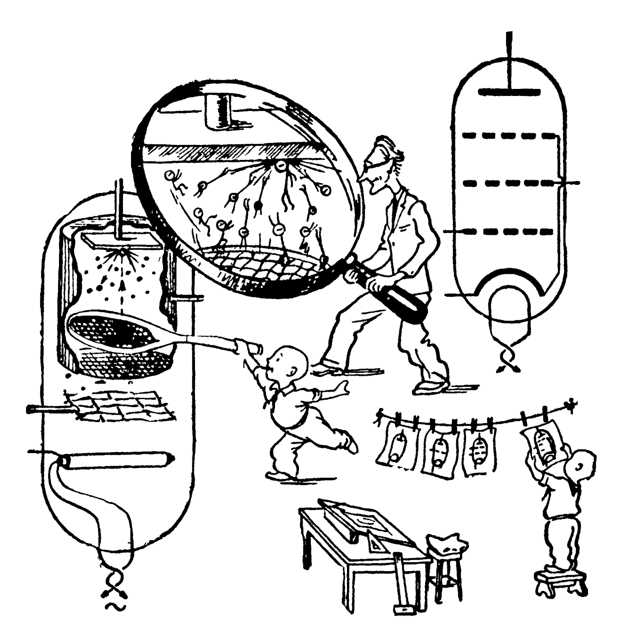
Фиг. 14. Принцип действия тетрода с катодной сеткой.

В 1916 г. Шоттки, занимаясь опытами с триодами и преследуя задачу повышения их коэффициента усиления, нашел необходимым ввести вторую сетку в пространство между анодом и имеющейся (управляющей) сеткой (фиг. 15). Подавая на эту — анодную — сетку положительное напряжение, по величине примерно равное половине анодного, Шоттки в известной мере достигал требуемого. Но прошло десятилетие, прежде чем эти работы получили широкое признание и применение. В 1926 г. Хэлл конструктивно видоизменил анодную сетку, придав ей вид электростатического экрана, которым он отделил анод от всех других электродов. Для чего же это понадобилось? В триоде анод и сетка образуют как бы небольшой конденсатор, емкости которого, однако, достаточно для того, чтобы цепь анода оказалась электростатически связанной с цепью сетки. Наличие этой пара-



Фиг. 15. Принцип действия тетрода с анодной сеткой.

зитной связи является достаточным условием для того, чтобы усилительный каскад превратить в генератор электрических колебаний. Вместо усиления подводимых к ней извне электрических колебаний, лампа начнет создавать свои колебания, и никакого нормального усиления не получается. Приемник с самовозбуждающимися каскадами свистит, воет, дико искажает и вообще перестает работать. Чтобы преодолеть возможность самовозбуждения, необходимо устранить паразитную связь между анодной и сеточной цепями, т. е. свести до ничтожно малого значения емкость между анодом и сеткой. Именно этой задаче и служит анодная сетка, выполненная в виде экрана. Она «перехватывает» электрические силовые линии и тем обособляет анод от сетки. Обычно экрани-



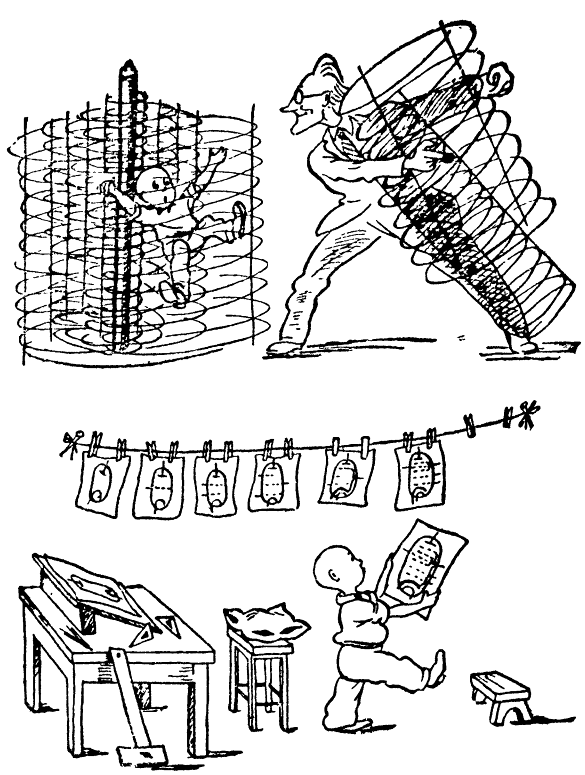
Фиг. 16 Принцип действия пентода.

рующая сетка имеет такую конструкцию, что только лишь та ее часть, которая обращена к аноду, выполнена в виде проволочной, спиралью навитой сетки. Остальная же часть этого электрода в целях лучшего экранирования сделана сплошной, без отверстий. Чтобы заметно не ослаблять анодного тока, на экранирующую сетку подается (от анодной батареи) положительное напряжение, по величине равное приблизительно половине анодного. Лампы с экранирующими сетками выгодно отличаются от триодов большим коэффициентом усиления: у триодов он обычно не превышает 20—100, а у экранированных ламп измеряется сотнями, поэтому вместо 2 триодов можно применять 1 экранированную лампу.

В экранированных лампах пришлось столкнуться с одним неприятным явлением. Дело в том, что электроны, ударяясь о поверхность анода, могут выбивать из него так называемые вторичные электроны. Это по своей природе такие же электроны, только освобожденные из металлической поверхности не нагреванием (как из катода), а электронной бомбардировкой. Один бомбардирующий электрон может выбить несколько вторичных электронов. Получается так, что сам анод превращается в источник электронов (фиг. 16). Вблизи

от анода находится положительно заряженная экранирующая сетка, и вторичные электроны, вылетая с малыми скоростями, могут притянуться к этой сетке, если в какой-либо момент напряжение на сетке окажется больше напряжения на аноде. Именно это имеет место в том случае, когда экранированная лампа используется в оконечном каскаде усиления низкой частоты. Устремляясь к экранирующей сетке, вторичные электроны устанавливают в лампе ток обратного направления, и работа лампы совершенно нарушается. Это неприятное явление именуется динатронным эффектом. Но есть средство борьбы с этим явлением. В 1929 г. появились первые лампы с пятью электродами, из которых два — анод и катод, а остальные три — сетки. По числу электродов эти лампы получили название пентодов. Третья сетка помещена в пространстве между экранирующей сеткой и анодом, т. е. находится ближе всего к аноду. Она соединяется непосредственно с катодом и, следовательно, имеет такой же потенциал, как и катод, т. е. отрицательный по отношению к аноду. Благодаря этому сетка возвращает вторичные электроны обратно на анод и тем предотвращает динатронный эффект. Отсюда и название этой сетки — защитная или противодинатронная. По многим своим качествам пентоды выше триодов. Они применяются для усиления напряжения высокой и низкой частот и прекрасно работают в оконечных каскадах.

Увеличение числа сеток в лампе не приостановилось на пентоде. Ряд «диод» — «триод» — «тетрод» — «пентод» пополнился еще одним представителем ламповой семьи — гексодом. Это — лампа с шестью электродами, из которых четыре — сетки (фиг. 17). Она применяется в каскадах высокочастотного усиления и частотного преобразования в супергетеродинных приемниках. Обычно сила приходящих к антенне радиосигналов, особенно на коротких волнах, изменяется в весьма значительных пределах. Сигналы то возрастают, то быстро замирают (явление фединга — замирания). Гексод же устроен так, что автоматически быстро меняет коэффициент усиления: слабые сигналы он усиливает в большей степени, а сильные — в меньшей. В результате слышимость выравнивается и поддерживается приблизительно на одном уровне. Автоматизм действия достигается изменением потенциалов на сетках в такт с изменением силы принимаемых сигналов. Такой гексод получил название фединг-гексода. В обычных приемниках такая регулировка усиления также имеет место, но осуществляется посредством пентодов с вытянутой нижней частью характеристики, где крутизна имеет плавно



Фиг. 17. Схема устройства гексода.

меняющееся значение. Такие пентоды называются «в а р и м ю».

Вторая категория гексодов — с м е с и т е л ь н ы е г е к с о д ы. В супергетеродинных приемниках принимаемый сигнал сначала понижается по частоте, а затем уже усиливается. Это понижение или преобразование частоты может быть осуществлено и посредством триодов, как это и делалось ранее. Но смесительные гексоды выполняют эту функцию более рационально. В нашей практике радиовещательного приема для выполнения этой функции применяются и другие лампы, с еще большим количеством сеток. Это — п е н т а г р и д ы (пятисеточные лампы) или, как их иначе называют, г е п т о д ы (семиэлектродные лампы). Лампы типа 6А8 и 6Л7 относятся к этой категории ламп. Для преобразования частоты в супергетеродинных приемниках применяется

также и шестисеточная лампа (восемь электродов)—**октод**. В отличие от пентагрида октод представляет собой как бы комбинацию триода с пентодом (тогда как пентагрид—триода с тетродом). Появившись позже пентагрида, октод по своим качествам выше своего предшественника.

Но не только в «сеточном направлении» развивались лампы за последние годы. О помещении двух «электрических вентилей» в общую колбу мы уже говорили ранее, касаясь устройства двойного диода типа 6Х6. Теперь широко применяются и такие комбинации, как диод-триод, двойные триоды, двойные диод-триоды (ДДТ), двойные диод-пентоды (ДДП), триод-гексоды и т. п. По большей части такие комбинированные лампы имеют общий катод. Работа одной лампы уподобляется работе нескольких более простых. Например, лампа 6Н7 является двойным триодом — два обособленных триода в общей колбе, своеобразные близнецы. Эта лампа с успехом заменяет собой две триодные лампы и может быть использована либо в двухкаскадном усилителе на сопротивлениях, либо в пушпульной схеме, для чего она собственно и предназначена. После детектирования, производимого в супергетеродинных приемниках, обычно посредством диодов, необходимо осуществлять усиление. Для этой цели теперь в общей колбе с детектирующим диодом помещают усилительный триод; так появились диод-триоды. В супергетеродинных приемниках для автоматической регулировки громкости (АРГ) необходимо получать постоянный ток, величина которого менялась бы в такт с силой принимаемых сигналов. Для этих целей можно было бы применить отдельный диод, но и его оказалось возможным поместить в колбу диод-триода. Так в одной лампе разместились сразу три лампы: два диода и триод, и лампа получила название двойной диод-триод. Таким же путем возникли диод-пентод, триод-гексод и т. д.

Несколько особняком от других ламп стоит лампа типа 6Л6. Это очень интересная лампа: одного электрода в ней нет, но он как бы подразумевается. С одной стороны, эта лампа—очевидный тетрод, так как в ней всего лишь четыре электрода: катод, анод и две сетки, из которых одна—управляющая, а другая — экранирующая. Но, с другой стороны, 6Л6 — пентод, ибо обладает всеми его свойствами и весьма положительными особенностями. Роль защитной сетки, обязательной для пентода, в лампе 6Л6 выполняет ... пустое пространство, искусственно созданная зона, находящаяся между анодом и экранирующей сеткой (фиг. 18). В этой зоне



Фиг. 18. Схема устройства лучевой лампы.

создан нулевой потенциал, именно такой же, какой имела бы защитная сетка, если бы только она существовала в этой лампе. Чтобы создать такую зону, пришлось произвести конструктивные изменения. В частности, анод отнесен дальше от защитной сетки. «Мнимый электрод» действует на вторичные электроны так же, как и защитная сетка, так же предотвращает возникновение динатронного эффекта. Электроны в этой лампе идут от катода к аноду как бы отдельными лучами, проходя в пространствах между витками сеток; отсюда и название лампы — л у ч е в а я. Витки сеток так расположены, что экранирующая сетка находится в «электронной тени», создаваемой витками управляющей сетки, ближайшей к катоду. Благодаря этому экранирующая сетка притягивает к себе сравнительно мало электронов, и ток эмиссии почти полностью расходуется на анодную цепь. С боковых узких сторон катода в лампе установлены металлические щитки, соединенные с катодом, благодаря чему электроны попадают на анод только с определенных сторон, где создано равномерное электрическое поле. Никаких «электронных завихрений» не получается, что сказывается в отсутствии искажений в работе лампы. Лучевые лампы обладают высоким коэффициентом полезного действия и способны отдать весьма большую

мощность на выходе. Достаточно сказать, что две такие лампы в пушпульной схеме при некоторых условиях могут отдать до 60 *вт* полезной мощности.

Лампы совершенствуются не только электрически, но также и чисто конструктивно. Первые радиолампы по виду мало чем отличались от электрических ламп и светили почти так же. Многим еще памятны первые радиолампы, разработанные нашими соотечественниками проф. А. А. Чернышевым и проф. М. А. Бонч-Бруевичем. За последние годы внешний облик радиолампы сильно изменился. Большой вклад в дело создания новых типов ламп и усовершенствования ранее выпущенных внесла наша отечественная научная мысль. Достаточно указать на работы коллектива сотрудников лауреата Сталинской премии орденоносца проф. С. А. Векшинского. Сначала радиолампа, к великому удивлению начинающих радиолюбителей, перестала светить и была обращена только к выполнению своих прямых обязанностей. Затем неоднократно изменялась конфигурация баллона. Появились малогабаритные лампы размером немногим более половины мизинца. Для радиотехнической аппаратуры лабораторного типа были выпущены лампы, величиной и формой похожие на жолуди. В настоящее время широко распространены металлические лампы, которые даже как-то и неудобно называть лампами, так как они совсем не светятся. Замена стеклянного баллона металлическим (стальным)— не простая замена: металлические лампы выгодно отличаются от стеклянных малыми габаритами (лампа 6Х6, например, величиной всего лишь в грецкий орех), прочностью, хорошей электрической экранировкой (не надо надевать громоздких экранов, как на стеклянные лампы), меньшими междуэлектродными емкостями и пр. Правда, есть и недостатки у металлических ламп, из которых весьма существенный—сильный нагрев металлической колбы, особенно у кенотронов.

Сейчас многие типы ламп выпускаются в двух вариантах: в металлическом и стеклянном оформлении. Применение «ключа» на ножке ламп облегчает процедуру вставления лампы в панельку. Если раньше возможно было неосторожное прикосновение к гнездам панельки не теми штырьками, в результате чего лампа, на мгновение эффектно вспыхнув, навсегда выбывала из строя из-за перегорания нити, то теперь нельзя вставить лампу, пока штырьки не заняли правильного положения. Ошибки, влекущие к гибели лампы, исключены.

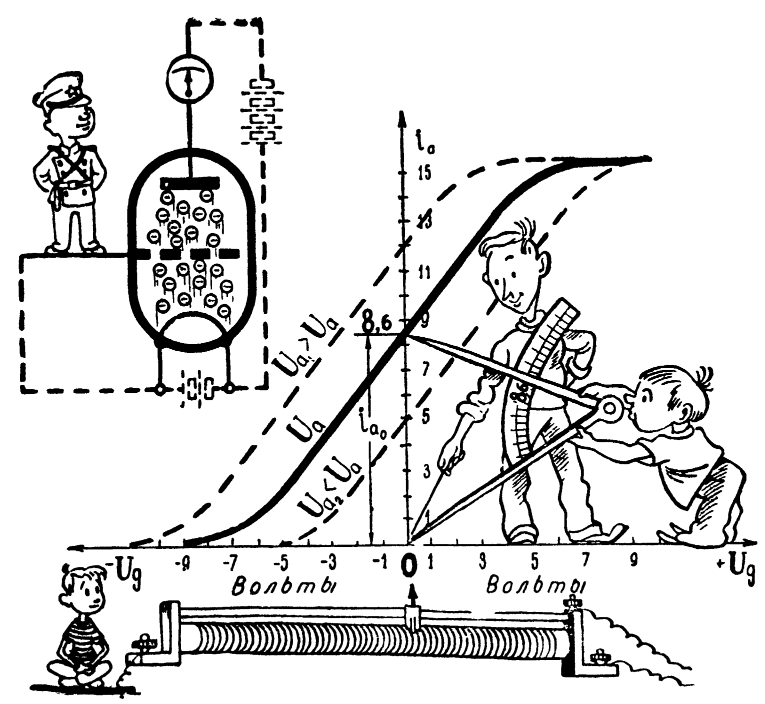
Ламповая техника непрерывно совершенствуется. Ее уровень определяет прогресс радиотехники.

II. КЛАССЫ УСИЛЕНИЯ

Характеристика лампы графически выражает собой зависимость анодного тока i_a от напряжения на сетке U_g при неизменном постоянном напряжении U_a на аноде. Величины напряжений на сетке—в вольтах—отложены по горизонтальной оси: отрицательные напряжения—влево от нуля, положительные—вправо. Величины анодного тока—в миллиамперах—отложены по вертикальной оси, вверх от нуля. Имея перед собой характеристику лампы (фиг. 19), можно быстро определить, чему равен анодный ток при любом напряжении на сетке: при $U_g = 0$, например, $i_a = i_{a0} = 8{,}6$ *ма*. Если интересуют данные при других анодных напряжениях, то вычерчивают не одну характеристику, а несколько: для каждого значения анодного напряжения отдельно. Характеристики для меньших анодных напряжений будут располагаться правее, а для больших—левее. Получается семейство характеристик, пользуясь которым можно определить параметры лампы.

Напряжение на сетке делаем положительным: $U_g = +3$ *в*. Что произошло с анодным током? Он увеличился до 12 *ма* (фиг. 20). Положительно заряженная сетка притягивает электроны и тем самым «подталкивает» их к аноду. Чем больше положительное напряжение на сетке, тем более это воздействие ее на поток электронов, что приводит к увеличению анодного тока. Но наступает такой момент, при котором возрастание замедляется, характеристика получает изгиб (верхний сгиб) и, наконец, анодный ток совершенно перестает возрастать (горизонтальный участок характеристики). Это— насыщение: все электроны, испускаемые накаленным катодом, полностью отбираются от него анодом и сеткой. При данном анодном напряжении и напряжении накала анодный ток лампы сделаться больше тока насыщения i_s не может.

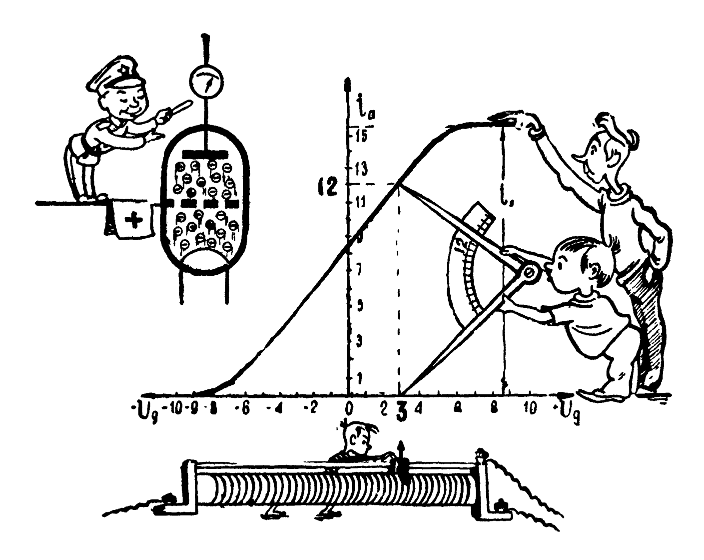
Напряжение на сетке делаем отрицательным, переходим в область левее вертикальной оси, в «левую область». Чем больше отрицательное напряжение на сетке, чем дальше влево, тем меньше становится анодный ток. При $U_g = -4$ *в* анодный ток уменьшается до $i_a = 3$ *ма* (фиг. 21). Объясняется это тем, что отрицательно заряженная сетка отталкивает электроны обратно к катоду, не пропуская их к аноду. Обратите внимание на то, что в нижней части характеристики также получается сгиб, как и в верхней. Как будет ясно из дальнейшего, наличие сгибов значительно ухудшает работу лампы. Чем прямолинейнее характеристика, тем лучше усилительная лампа.



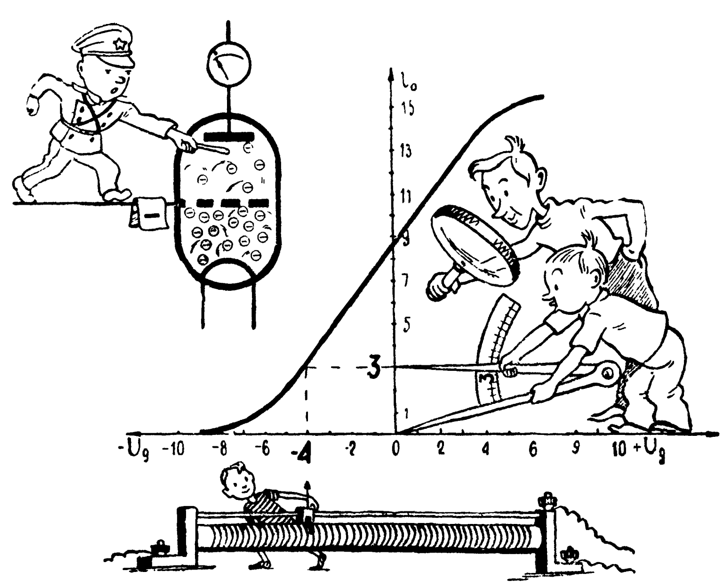
Фиг. 19. Отсчет анодного тока, когда сетка не заряжена.

Сделаем отрицательное напряжение на сетке настолько большим, чтобы сетка отталкивала от себя все электроны обратно к катоду, совершенно не пропуская их к аноду. Поток электронов обрывается, анодный ток делается равным нулю. Лампа «запирается» (фиг. 22). Напряжение на сетке, при котором происходит «запирание» лампы, называется „напряжением запирания“ (обозначено $U_{g\,зап}$). Для взятой нами характеристики $U_{g\,зап} = -9$ *в*. „Отпереть“ лампу можно уменьшением отрицательного напряжения на сетке или же увеличением анодного напряжения.

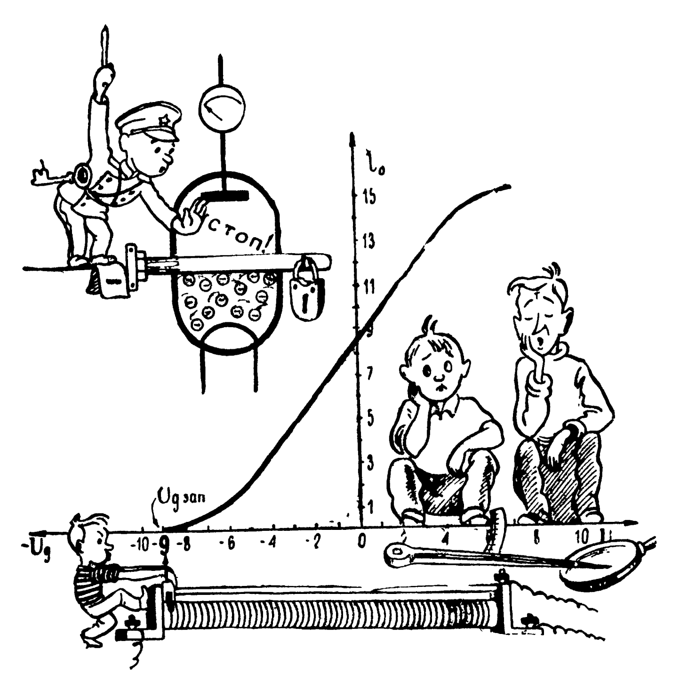
Установив постоянное напряжение на аноде, можно менять анодный ток i_a от нуля ($i_a = 0$) до максимума ($i_a = i_s$) изменением напряжения на сетке в пределах от $U_{g\,зап}$ до U_{gs} (фиг. 23). Так как сетка расположена к катоду ближе, чем анод, то достаточно лишь немного изменить сеточное напряжение, чтобы значительно изменить анодный ток. В нашем случае достаточно изменить напряжение на сетке всего лишь на 14,5 *в*,



Фиг. 20. Отсчет анодного тока, когда сетка имеет положительный заряд.



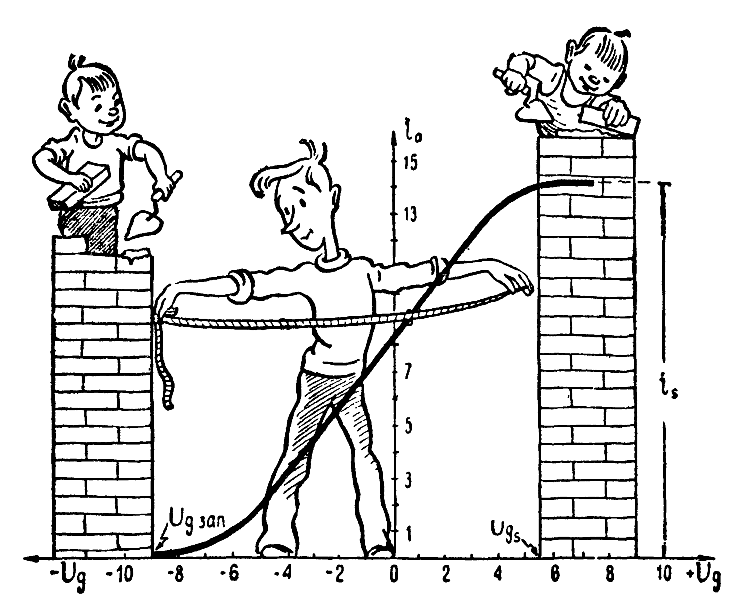
Фиг. 21. Отсчет анодного тока, когда сетка имеет небольшой отрицательный заряд.



Фиг. 22. Лампа „заперта“.

чтобы уменьшить анодный ток от максимума до нуля. Воздействие сеточного напряжения на поток электронов—исключительно удобная возможность управления величиной электрического тока, в особенности если учесть, что это воздействие осуществляется мгновенно, безинерционно.

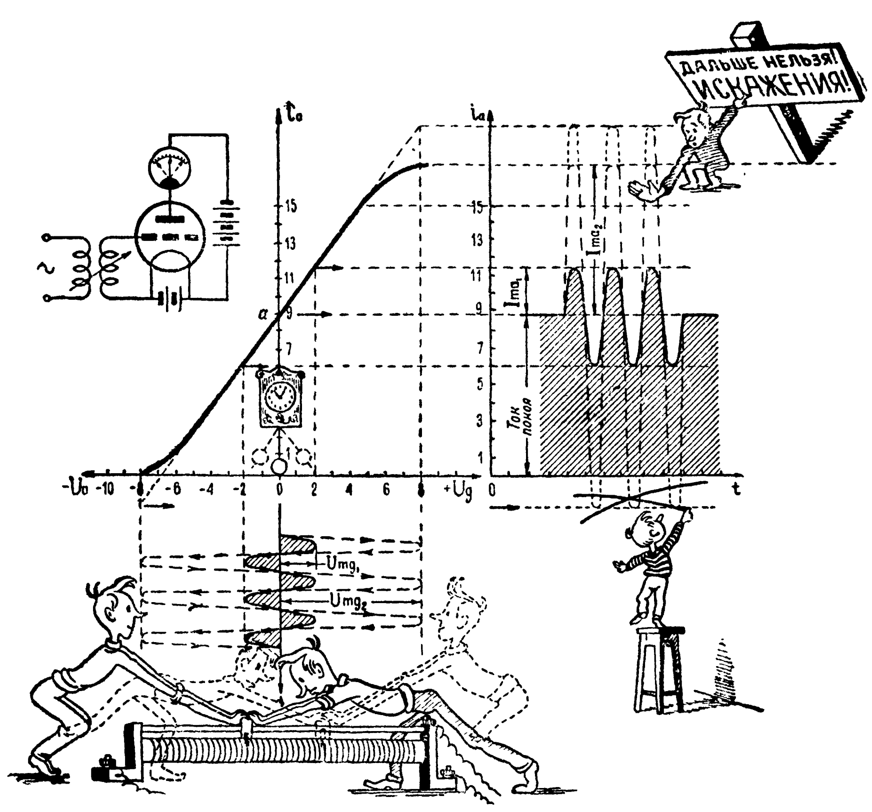
Будем равномерно и непрерывно менять напряжение на сетке, делая его то положительным, то отрицательным. С этой целью подведем к сетке переменное напряжение U_{mg1}, называемое напряжением возбуждения лампы. График этого напряжения (синусоида) нанесен на вертикальной оси времени t, идущей вниз от нуля. Анодный ток будет пульсировать — периодически увеличиваться и уменьшаться—с частотой, равной частоте напряжения возбуждения. График пульсаций анодного тока, повторяющий по своей форме график напряжения возбуждения, нанесен вдоль горизонтальной оси времени t вправо от характеристики. Чем больше величина U_{mg1}, тем в бóльших пределах изменяется анодный ток (сравните U_{mg1} и I_{ma1} с U_{mg3} и I_{ma2}) (фиг. 24). Точка a на характеристике, соответствующая среднему зна-



Фиг. 23. „Пределы" изменения анодного тока в зависимости от напряжения сетки при заданном напряжении анода.

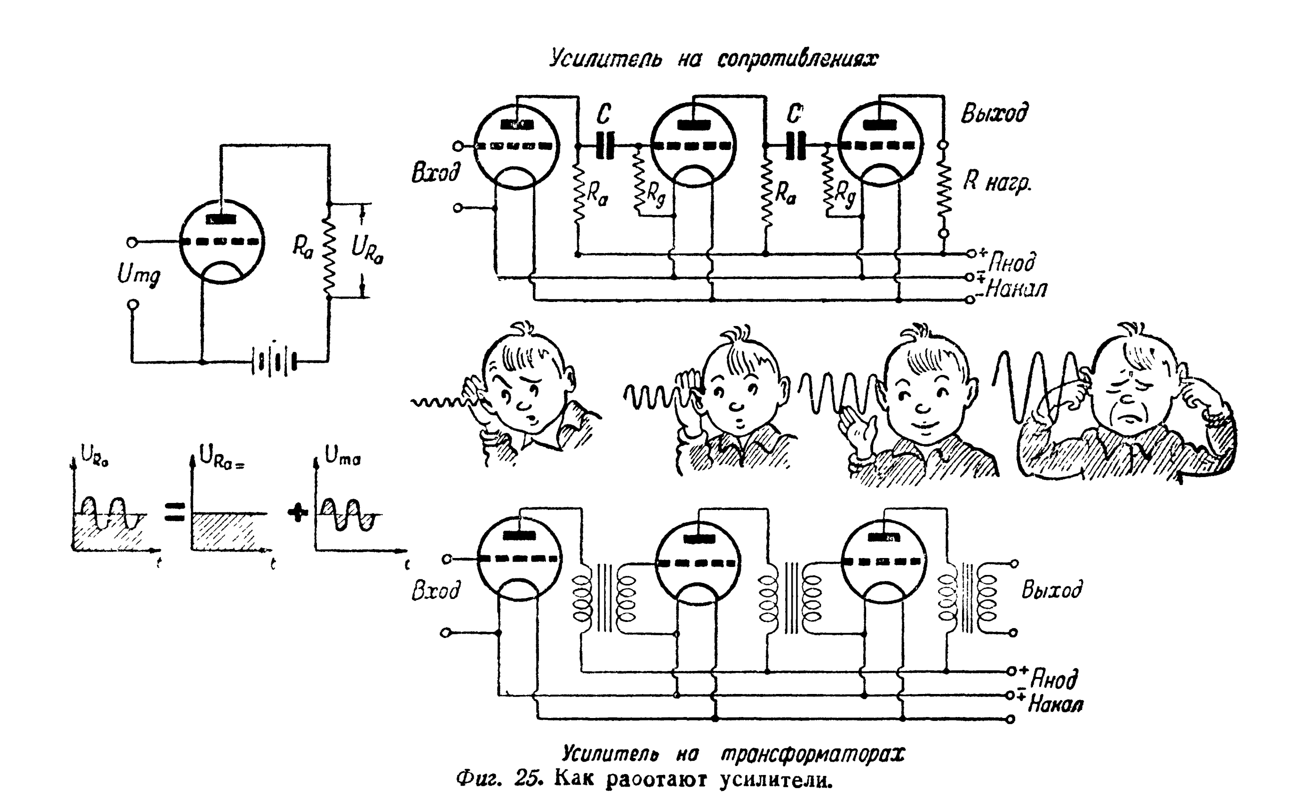
чению напряжения на сетке и току покоя в анодной цепи, называется рабочей точкой.

Что произойдет, если в анодную цепь лампы (схема слева) включить сопротивление R_a? Через него будет проходить анодный ток i_a, вследствие чего на нем получится падение напряжения U_{Ra}, пульсирующее с частотой напряжения возбуждения. Пульсирующее напряжение, как известно, состоит из двух слагаемых: постоянной (в нашем случае $U_{Ra=}$) и переменной (U_{ma}). При правильно выбранной величине R_a переменная слагаемая анодного напряжения U_{ma} в усилителях напряжения оказывается больше U_{mg}, т. е. осуществляется усиление переменного напряжения. Отношение U_{ma} к U_{mg} называется коэффициентом усиления схемы. Если усиление, производимое одной лампой, недостаточно, то усиленное первой лампой напряжение подают ко второй лампе, а от второй—к третьей и т. д. Так осуществляется каскадное усиление (фиг. 25). На фигуре справа приведены сильно упрощенные схемы трехкаскадных усилителей: наверху—на сопротивлениях, а внизу—на трансформаторах.



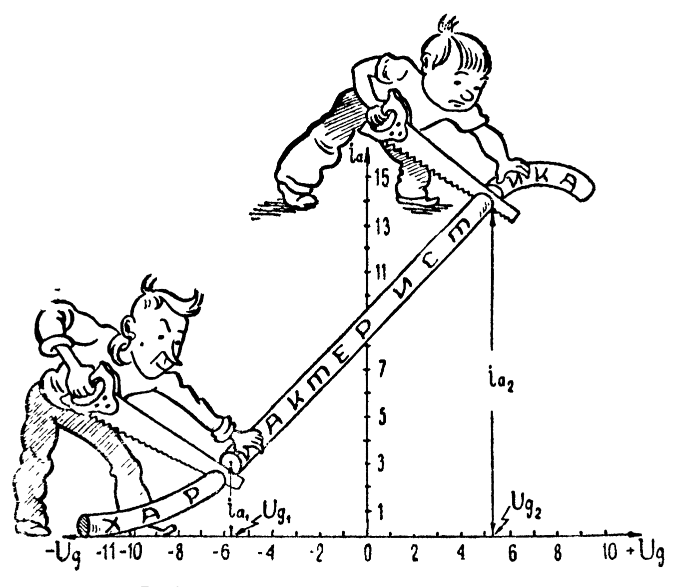
Фиг. 24. Переменное напряжение на сетке создает пульсирующий анодный ток.

На фиг. 26 показана такая же характеристика лампы, как и на фиг. 24, только без верхнего и нижнего плавных сгибов. Это — идеализированная характеристика. Сравните между собой фиг. 24 и 26 и вы увидите, к чему приводит наличие сгибов на реальной характеристике. Они вызывают искажения в анодной цепи формы кривой усиливаемых колебаний, а эти искажения недопустимы, в особенности, когда они большие. Громкоговоритель, присоединенный к усилителю, работающему с искажениями, воспроизводит хриплые звуки, речь становится неразборчивой, пение — неестественным и т. п. Такие искажения, обусловленные нелинейностью ламповой характеристики, называются н е л и н е й н ы м и. Их совершенно не будет, если характеристика строго

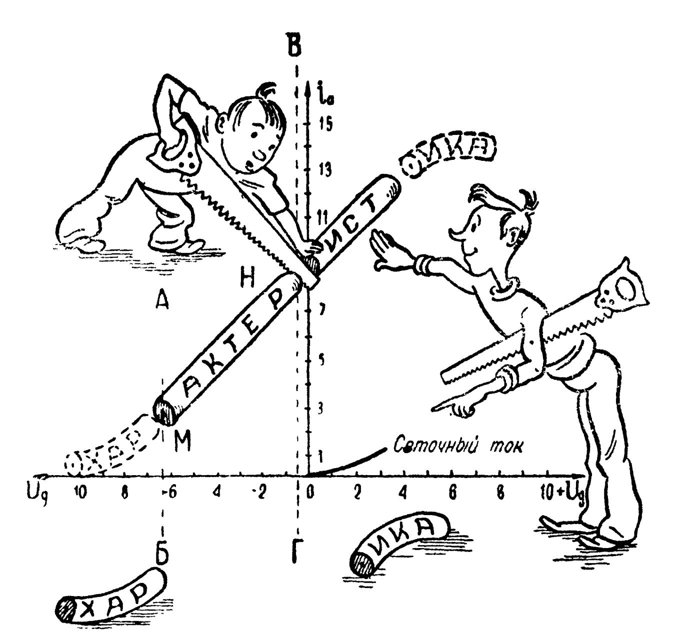


Фиг. 25. Как раоотают усилители.

Фиг. 26. Характеристика лампы, работающей без искажений.



Фиг. 27. Как устранить искажения при усилении.

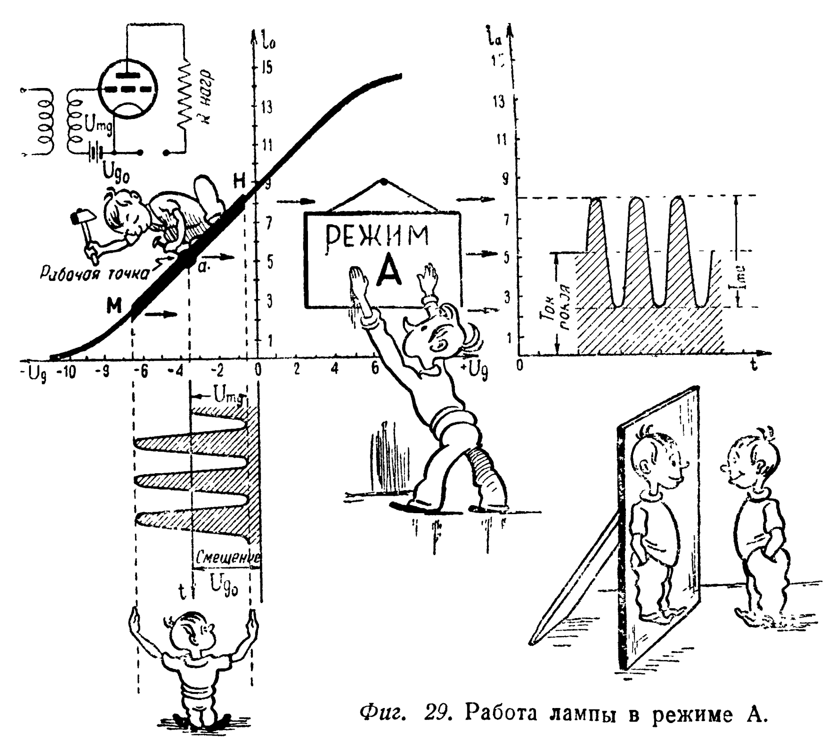


Фиг. 28. Как устранить искажения, вносимые наличием сеточного тока.

линейна: здесь график колебаний анодного тока в точности повторяет график колебаний напряжения на сетке.

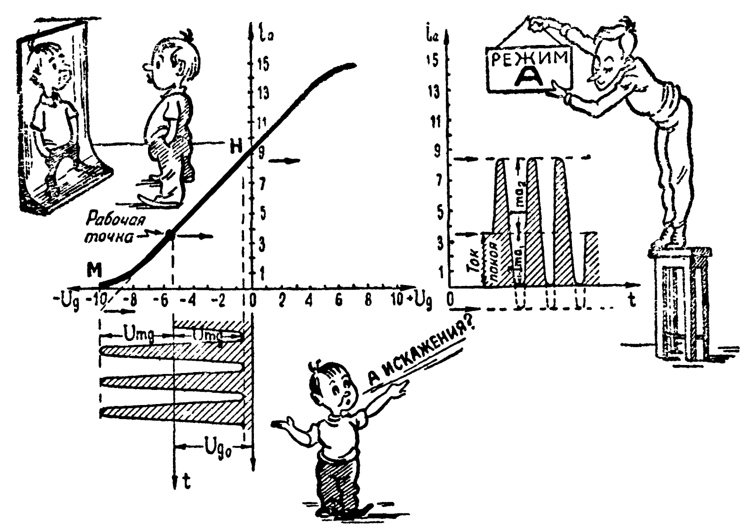
Характеристики большинства усилительных ламп в своей средней части прямолинейны. Напрашивается вывод: использовать не всю характеристику лампы вместе со сгибами, а только прямолинейный средний участок ее (фиг. 27). Это избавит усиление от нелинейных искажений. Чтобы это осуществить, напряжение на сетке не должно превышать в сторону отрицательных значений $-U_{g1}$, а в сторону положительных значений $+U_{g3}$. Величина анодного тока при этом будет меняться в суженных пределах: не от $i_a = 0$ до $i_a = i_s$ (фиг. 23), а от i_{a1} до i_{a2}. В этих пределах ламповая характеристика совершенно линейна, искажений не получится, но зато лампа будет использована не до пределов своих возможностей, ее коэффициент полезного действия (к.п.д.) окажется низким. В тех случаях, когда необходимо получить неискаженное усиление, с этим обстоятельством приходится мириться.

К сожалению, нелинейными искажениями дело не ограничивается. В моменты, когда сетка заряжена положительно,



Фиг. 29. Работа лампы в режиме А.

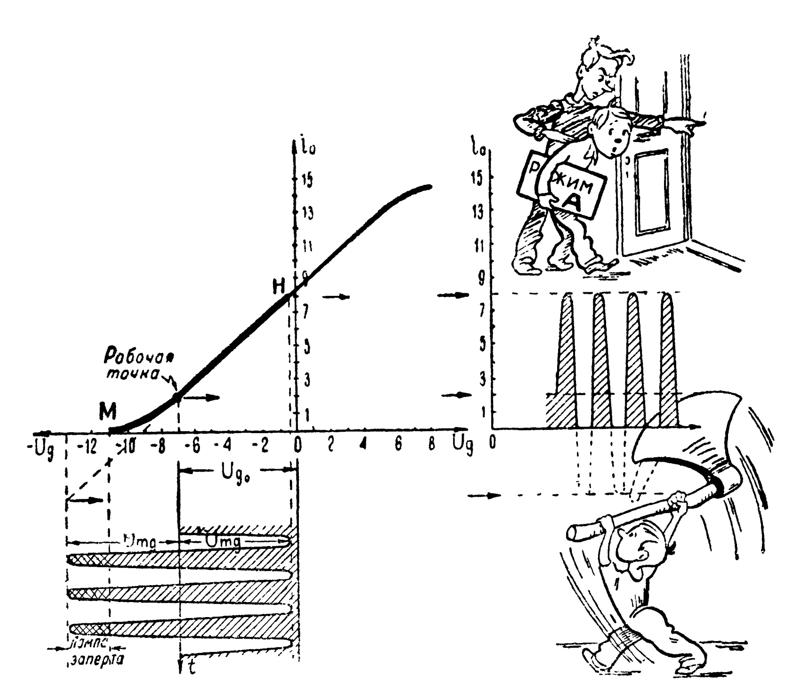
она притягивает к себе электроны, отнимая некоторое их количество от общего потока, направленного к аноду. Благодаря этому в цепи сетки возникает сеточный ток. Анодный ток уменьшается на величину сеточного тока, причем это уменьшение получается тем более резко выраженным, чем больше положительное напряжение на сетке. Вследствие этого при положительных импульсах сеточного напряжения опять появляются искажения формы анодного тока. Избавиться от этих искажений можно: в процессе усиления напряжение на сетке никогда не должно быть положительным и даже лучше, если оно вообще не доходит до нуля (фиг. 28). Его надо всегда поддерживать отрицательным, и тогда сеточного тока не будет совершенно. Это требование ведет к еще большему сокращению длины используемой части характеристики: правее линии *ВГ* — токи сетки, левее линии *АБ* — нелинейные искажения. *МН* — вот участок характеристики, при использовании которого можно полностью избавиться от искажений в лампе; к. п. д. при этом становится еще меньше.



Фиг. 30. Работа лампы в режиме А с использованием нижнего изгиба характеристики.

Но как использовать участок *МН*? Если к сетке подвести лишь напряжение возбуждения U_{mg}, как на фиг. 24 и 26, то неизбежен заход в правую область, в область сеточных токов. Подведем сначала к сетке постоянное отрицательное напряжение U_{g0} такой величины, чтобы рабочая точка *а* сместилась влево по характеристике и оказалась как раз посредине участка *МН* (фиг. 29). Затем подадим к сетке напряжение возбуждения U_{mg}. Заход в правую область будет устранен, если величина U_{mg} не превысит U_{g0}, т. е. если $U_{mg} < U_{g0}$. Работая при таких условиях, лампа не будет вносить искажений. Этот режим работы лампы получил название **режима А**. Батарея, напряжение которой смещает по характеристике рабочую точку, называется батареей смещения, а ее напряжение U_{g0}—напряжением смещения.

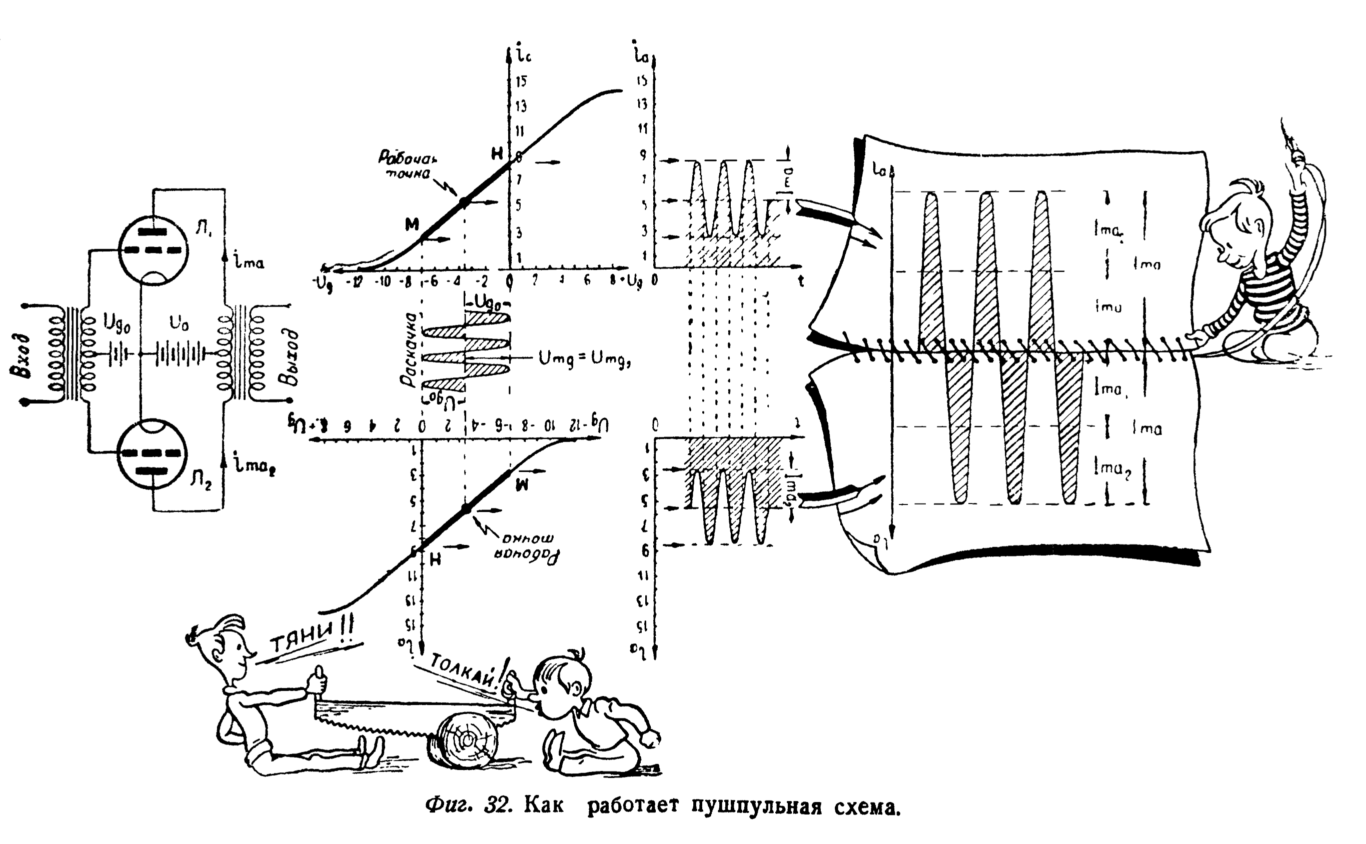
Среди других режимов низкочастотного усиления режим А — самый неэкономичный: только в отдельных случаях к. п. д. достигает 30 — 35%, вообще же он поддерживается на уровне 15—20%. Но зато этот режим — самый «чистый», режим с наименьшими искажениями. Его применяют довольно часто, причем, главным образом, в маломощных (до 10—20 *вт*) усилительных каскадах, в которых к. п. д. не имеет особо важного значения. У усилительных ламп с круто обрывающейся характеристикой нижний сгиб сравни-



Фиг. 31. Лампа работает с отсечкой

тельно короткий. Пренебрегая внесением незначительных нелинейных искажений (совершенно, кстати, необнаруживаемых при прослушивании звуковой программы), можно допустить более экономичное использование лампы и включить нижний изгиб в рабочий участок *МН* характеристики (фиг. 30). Такой режим лампы еще сохраняет за собой название режима А.

В учебниках встречается такое определение режима усиления класса А: это—режим, при котором лампа работает без отсечки анодного тока. На фиг. 31 мы показываем, что такое о т с е ч к а. Напряжение возбуждения U_{mg} настолько велико, что в течение некоторой части периода U_{mg} лампа совершенно „запирается", ток через лампу прекращается. Нижние части кривой анодного тока не воспроизводятся и как бы отсекаются—отсюда и название „отсечка". Отсечка может быть не только снизу, но и сверху („верхняя отсечка", см. фиг. 38), когда импульс анодного тока превышает ток насыщения лампы. Итак, р е ж и м А — р е ж и м у с и л е н и я **б е з о т с е ч к и.** Руководствуясь этим определением, мы мо-



Фиг. 32. Как работает пушпульная схема.

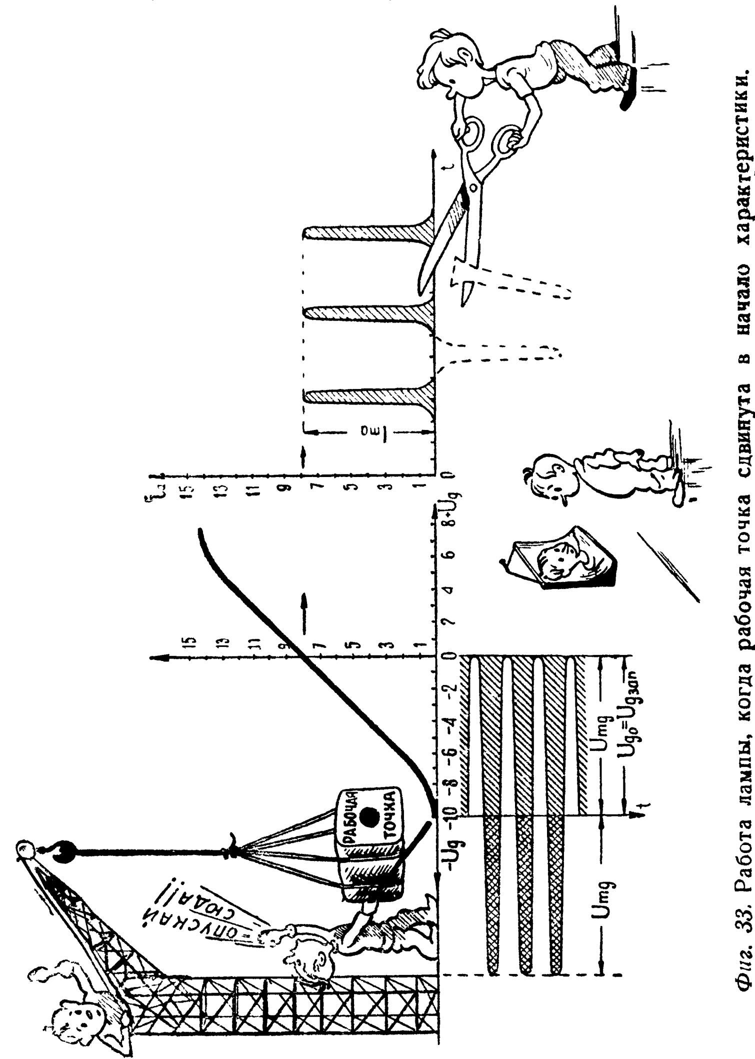
гли бы отнести к этому режиму и процессы, графически представленные на фиг. 24 (при U_{mg2}), фиг. 26 (то же при U_{mg1}), фиг. 29 и 30. Но, повторяем, режим А — режим без искажений: такому условию удовлетворяет в полной мере лишь процесс, представленный на фиг. 29.

Широкое распространение получила двухтактная схема усилителя, работающего в режиме А, иначе называемая пушпульной схемой (от английских слов «пуш»—толкать и «пул» — тянуть). В этой схеме использована не одна, а две одинаковые лампы. Напряжение возбуждения подается так, что когда одна сетка заряжается положительно, другая заряжается отрицательно. Благодаря этому возрастание анодного тока одной лампы сопровождается одновременным уменьшением тока другой лампы. Но импульсы токов в анодной цепи складываются и в ней получается результирующий переменный ток, равный удвоенной величине тока одной лампы, т. е. $i_{ma} = i_{ma1} + i_{ma2}$. Это гораздо легче представить, если одну характеристику расположить в перевернутом виде под другой: сразу становится понятным, как напряжение U_{mg} («раскачка») действует на токи в лампах (фиг. 32). Двухтактная схема работает более экономично и с меньшими нелинейными искажениями, нежели однотактная. Чаще всего эта схема применяется в оконечных (выходных) каскадах усилителей средней и большой мощности.

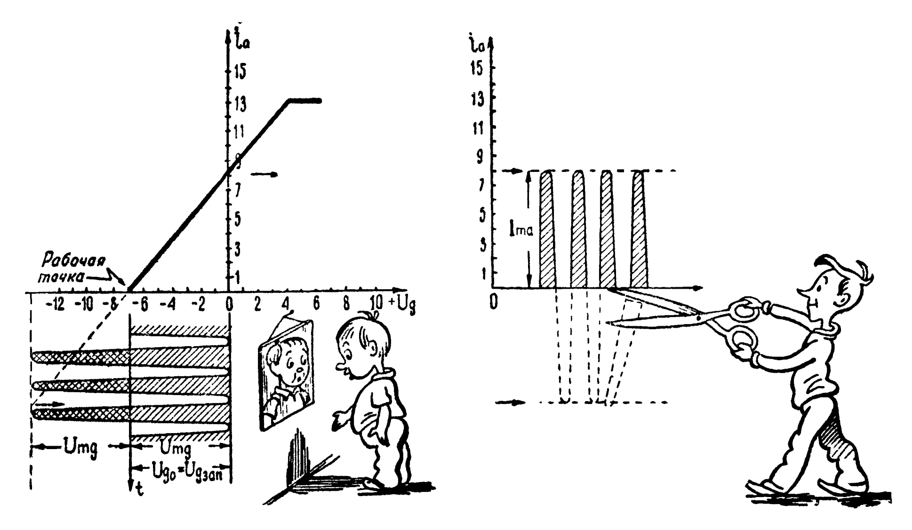
Рассмотрим такой случай: на сетку лампы подано напряжение смещения $U_{g0} = U_{g\,зап}$. Тем самым рабочая точка помещена на самый низ характеристики. Лампа „заперта", ее анодный ток в момент покоя равен нулю. Если в таких условиях к лампе подвести напряжение возбуждения U_{mg}, то в анодной цепи появятся импульсы тока I_{ma} в форме „половинок периодов". Иначе говоря, кривая усиливаемых колебаний U_{mg} исказится до неузнаваемости: срежется вся ее нижняя половина (фиг. 33). Такой режим может показаться совершенно непригодным для низкочастотного усиления — слишком уж велики искажения. Но подождем делать этот вывод о непригодности.

Спрямим у характеристики (фиг. 33) нижний сгиб, превратим реальную характеристику в идеализированную, совершенно прямолинейную (фиг. 34). Нелинейные искажения вследствие наличия нижнего сгиба пропадут, но останется срез половины кривой усиливаемых колебаний. Если бы удалось этот недостаток устранить или компенсировать, такой режим можно было бы использовать для низкочастотного усиления. Он выгоден: в моменты пауз, когда напряжение возбужде-

ния U_{mg} не подается, лампа заперта и не потребляет от источника анодного напряжения электрический ток. Но как устранить или компенсировать срезание половины кривой? Возьмем не одну лампу, а две, и заставим их работать попеременно: одну — от одного полупериода напряжения возбуждения, а другую—от другого, следующего за первым. Когда одна лампа будет «отпираться», другая в этот момент начнет



Фиг. 33. Работа лампы, когда рабочая точка сдвинута в начало характеристики.



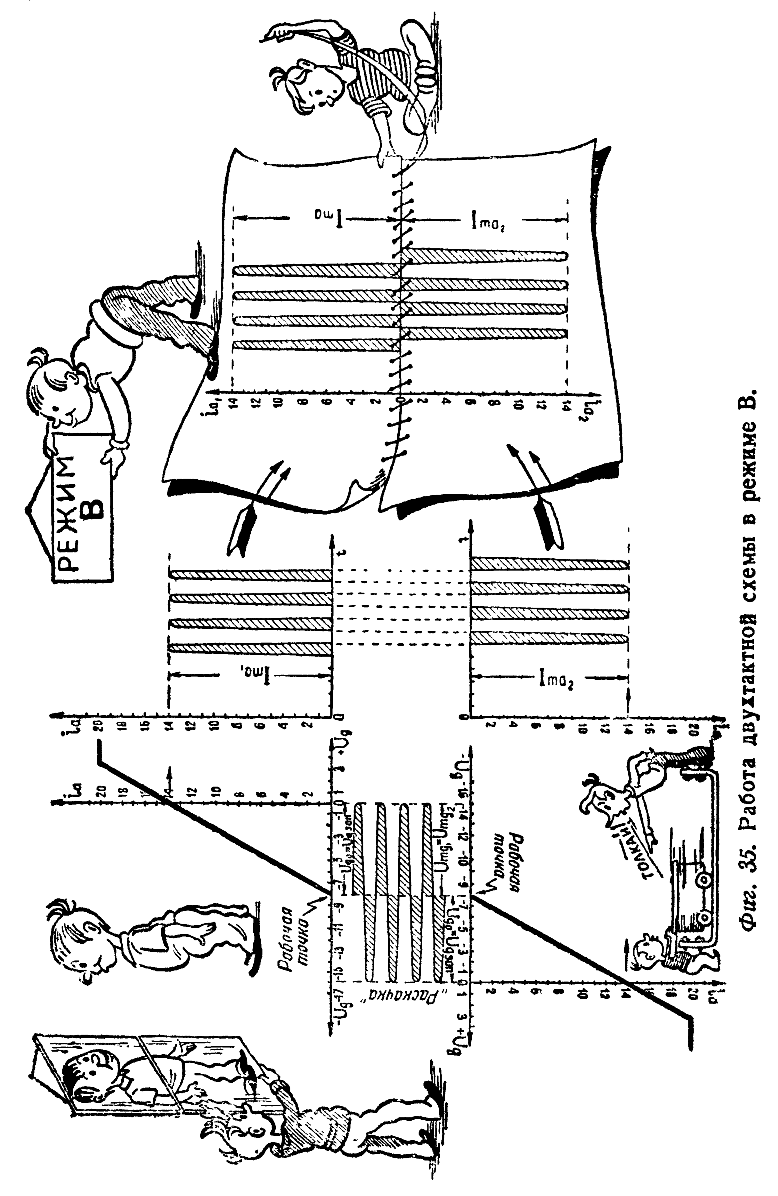
Фиг. 34. Работа лампы с полной отсечкой.

«запираться», и наоборот. Каждая лампа в отдельности будет воспроизводить свою половину кривой, а совместным их действием будет воспроизведена полностью вся кривая. Искажение устранится. Но как для этого соединить лампы?

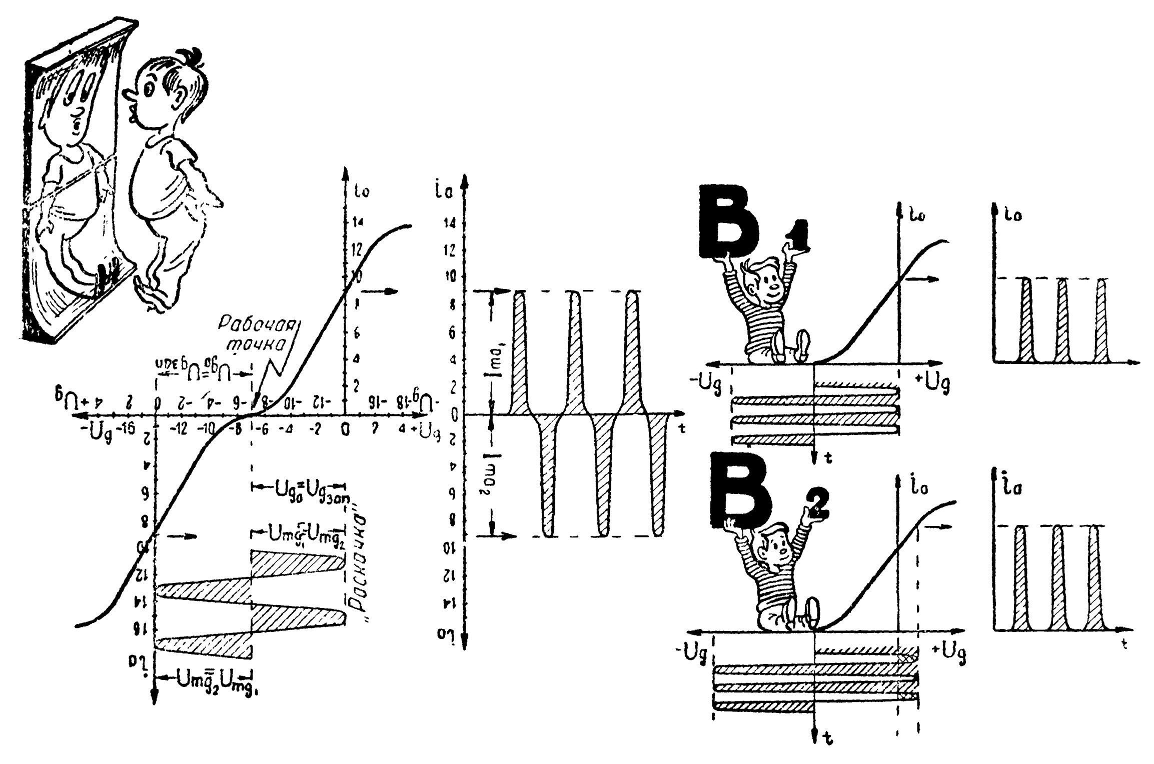
Конечно, по двухтактной схеме, изображенной на фиг. 32. Только на сетку каждой из ламп в этой схеме придется подать напряжение смещения $U_{g0}=U_{g\,зап}$. Пока напряжение возбуждения U_{mg} не подается, обе лампы „заперты", их анодные токи равны нулю. Но вот подано напряжение U_{mg}, и лампы поочередно начинают „отпираться" и „запираться" (фиг. 35), работая импульсами, толчками (отсюда и название режима— „пуш-пуш" — „толкай-толкай"). В этом отличие схемы „пуш-пуш" от схемы „пуш-пул" (фиг. 32), работающей в режиме А. В случае пушпульного режима лампы работают одновременно, тогда как в „пушпушном" — по очереди. Если характеристики ламп совершенно прямолинейны, лампы в точности одинаковы и отсечки у каждой из них выбраны правильно, то искажений не получается совершенно. Такой режим усиления, применимый только для двухтактных схем, получил название идеального **режима В.**

Но в реальном режиме В, с реальными характеристиками, неизбежны нелинейные искажения из-за нижнего сгиба. Это и заставляет во многих случаях отказываться от использования режима В, вообще наиболее экономичного из всех режи-

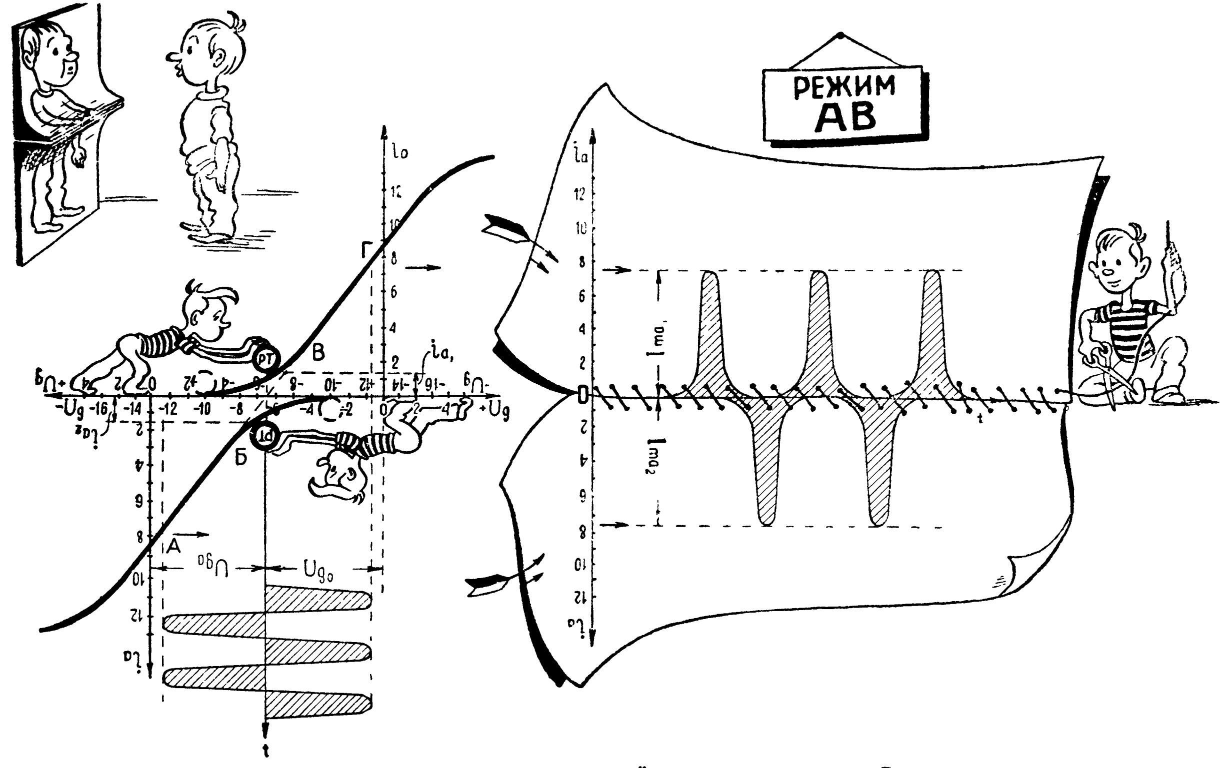
мов низкочастотного усиления. Какой же режим низкочастотного усиления может быть рекомендован? Режим А, как мы теперь знаем, мало экономичен, и его применение в мощных



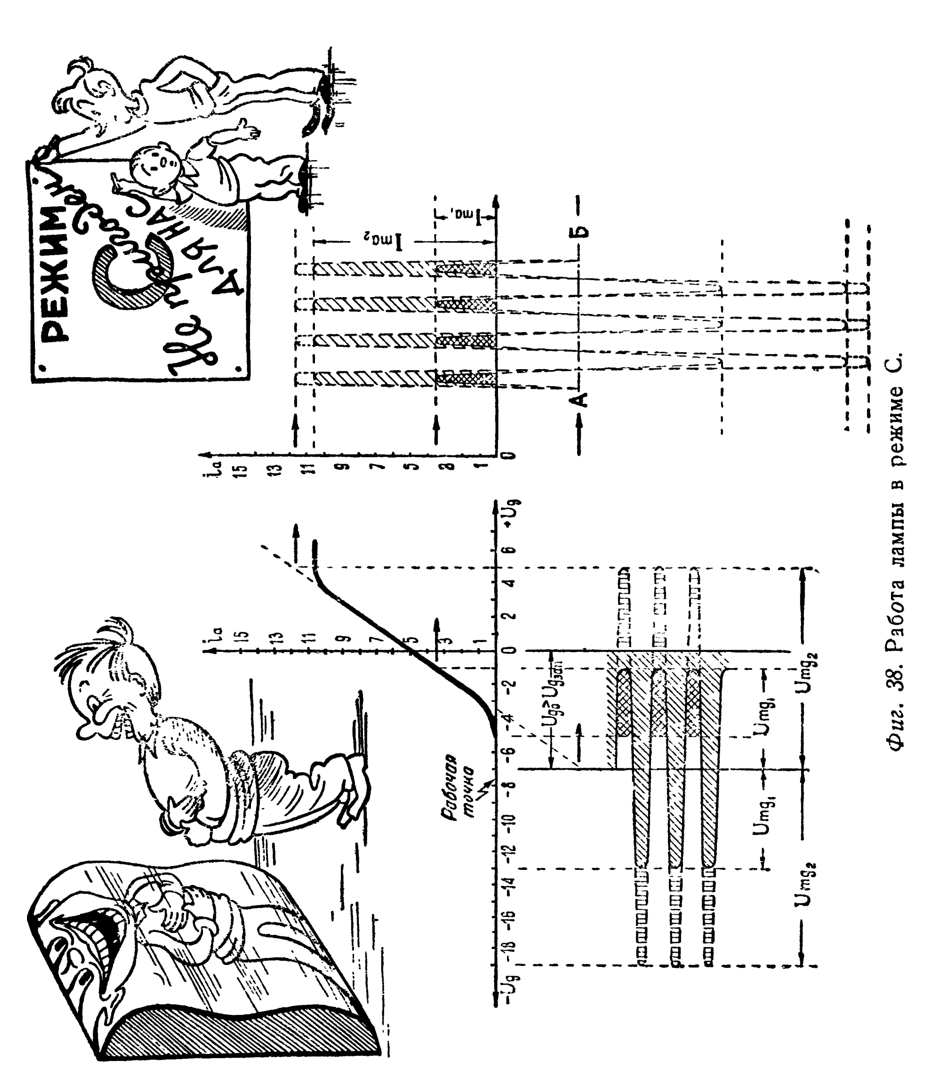
Фиг. 35. Работа двухтактной схемы в режиме В.



Фиг. 36. Чем отличается **работа двухтактной** схемы в режимах B_1 и B_2



Фиг. 37. Работа двухтактной схемы в режиме АВ.



Фиг. 38. Работа лампы в режиме С.

усилителях не всегда оправдывается. Он хорош только для маломощных каскадов. Случаи использования режима В также ограничены. Но есть режим, занимающий промежуточное положение между режимами А и В, — это **режим АВ.** Однако, прежде чем ознакомиться с ним, укажем на принятое подразделение существующих режимов усиления. Если в процессе усиления получается заход в область сеточных токов, в пра-

вую область, то к названию режима прибавляется индекс 2, если же работа производится без токов сетки, — индекс 1. Так различают режимы B_1 и B_2 (фиг. 36), режимы AB_1 и AB_2. Обозначения A_1 и A_2 почти не встречаются: режим А — режим совершенно без искажений, а значит, и без токов сетки, Просто — режим А.

Теперь ознакомимся с режимом АВ. В этом режиме, как и в режиме В, лампы работают с отсечкой анодного тока, но рабочая точка на характеристике находится правее и выше, нежели в режиме В. В моменты пауз токи через лампы не прекращаются, хотя они и не велики (i_{a1} и i_{a2}). Положение рабочей точки *РТ* определяется таким условием: результирующая характеристика *АБВГ* ламп, работающих в двухтактной схеме (для однотактных схем режим АВ вообще непригоден), должна быть как можно прямолинейнее. В то же время токи i_{a1} и i_{a2} желательно иметь малыми, поскольку этим во многом определяется к. п. д. Этим условиям удовлетворяет положение рабочей точки *РТ*, указанное на фиг. 37. Режим AB_2 более экономичный, чем режим AB_1 (к. п. д. в режиме AB_2 достигает 65%, тогда как в режиме AB_1—лишь 50%); он применяется в каскадах большой — более 100 *вт*— мощности. В каскадах средней мощности — до 100 *вт*—рекомендуется режим AB_1. Искажения в режиме AB_2 заметно больше, нежели в режиме AB_1,

Наконец, известен еще один режим усиления— **режим С**. Он характерен тем, что рабочая точка в этом режиме находится левее положения на оси сеточных напряжений, при котором лампа „запирается". На сетку лампы подается отрицательное напряжение смещения $U_{g0} > U_{g\,зап}$. В моменты пауз лампа „заперта", и она „отпирается" только для того, чтобы пропустить кратковременный импульс тока, длящийся менее половины периода U_{ng}. Обычно U_{mg} по абсолютному значению больше U_{o0}, вследствие чего осуществляется заход в область сеточных токов и даже имеет место верхняя отсечка (как показано на фиг. 38 для U_{mg2}). Искажения в режиме С настолько велики, что этот режим непригоден для низкочастотного усиления. Но он наиболее экономичен из всех режимов вообще (к. п. д. до 75—80%) и поэтому применяется для усиления высокочастотных колебаний в радиопередающих устройствах, где нелинейные искажения не имеют такого значения, как в технике низкочастотного усиления.

Редакторы. *В. А. Бурлянд и Д. А Канашинский* Техред. *И. М. Скворцов.*

Сдано в производство 10.IX 1947 г. Подписано к печати 22 IX 1947 г.
Объем 3 п. л. Бумага 84 × 108¹/₃₂. Тираж 100.000 экз.
А 09397. Цена 1 р. 50 к. Заказ. № 270

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Основное обозначение	Другое обозначение	Тип	Накал		Напряжение на аноде	Напряж. на экранной сетке	Напряжение смещения	Анодный ток	Ток экранной сетки	Крутизна	Коэф. усиления	Внутреннее сопротивление	Сопротивление нагрузки	Выходная мощность	Макс.-доп. мощность рассеян. на анод	Емкость анод—упр. сетка
			напряжение	ток												
			в	*ма*	*в*	*в*	*в*	*ма*	*ма*	*ма/в*	—	*ом*	*ом*	$P_{вых}$	P_a	*мкмкф*
1. „Малгабы"																
2Ж2М	—	Пентод вч	2	60	120	70	—1	1,0	0,3	0,8	1200	1500 . 10³	—	—	0,5	0,02
2К2М	—	Пентод вч варимю	2	60	120	70	—1	2,0	0,6	0,95	950	1000 . 10³	—	—	0,5	0,02
2П4М	24	Оконечный пентод	2	120	120	80	—4	7,0	2,0	2,0	125	60 000	12000	0,25	2,5	0,7
2П9М	—	Оконечн. лучевой тетрод	2	1000	250	150	—6	35	1,5	2,5	100	40 000	2500	6,0	8,0	0,6
2Ф2М	—	Триод	2	60	120	—	—4	2,0	—	1,2	20	16 00	—	—	0,8	3,5
УБ-240	2С3М	Триод	2	120	120	—	—2,5	1,5	—	1,3	22	17 000	40000	0,02	0,6	2,7
СБ-241	2К1М	Пентод вч варимю	2	120	120	70	—1	3,5	1,0	1,6	1200	750 000	—	—	0,7	0,02
СБ-242	2А1М	Гептод-преобразователь .	2	16	120	70	0	2,2	2,2	S_c=0,45	—	150 000	—	—	0,7	0,45
СБ-245	—	Генераторный тетрод . .	1,8	320	160	80	—2,0	21,0	4,0	1,8	75	300 000	—	—	1,5	0,05
СО-243	2Н1М	Двойной триод	2	240	120	—	0	3,2	—	2,1	32	16 000	3 000	0,8	1,5	3,4
СБ-244	2П1М	Оконечный пентод	2	190	120	120	—2,5	4,0	0,75	1,8	270	150 000	0000	0,15	1,5	0,5
СО-257	—	Генераторный пентод . .	2	275	200	100	—7,0	14,0	2,5	1,8	200	110 000	6000	1,25	2,5	0,06
СБ 258	2П2М	Оконечный пентод	1,8	320	160	120	—6,0	10,0	1,7	2,0	175	80 000	20000	0,45	2,0	0,5
2. Лампы старых выпусков																
УБ-152	—	Триод	2	110	120	—	—4,0	5,0	—	2,0	12	6 000	—	—	2,0	4,5
СБ-154	—	Тетрод вч варимю	2	110	160	80	—1,0	3,5	1,3	1,25	500	400 000	—	—	1,0	0,04
СБ-155	—	Оконечный пентод	2	220	120	100	—4,0	10,0	1,8	2,2	200	90 000	8 000	0,25	4,0	0,5
СБ-154	—	Двойной триод	2	300	120	—	0	5,6	—	2,5	25	—	3 000	1,0	2,5	—
УБ-107	—	Триод	4	75	120	—	—2,0	8,0	—	1,35	12	9 000	—	—	2,0	4,0
УБ-110	—	Триод	4	75	160	—	—1,5	3,8	—	1,2	25	20 000	—	—	2,0	3,3
СБ-112	—	Тетрод вч	4	75	160	60	—1,0	1,25	0,2	0,5	500	1 000 000	—	—	1,0	0,03
УБ-132	—	Оконечный триод	4	150	160	—	—8,0	12,0	—	2,0	8,5	4 250	5 000	0,25	3,0	5,0
СБ-147	—	Тетрод вч	4	150	160	60	—1,0	2,8	1,0	1,0	650	650 000	—	—	2,0	0,04

Цена 1 р. 50 к.



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, дом 10.

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

под общей редакцией академика А. И. Берга

ПЕЧАТАЮТСЯ И В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПОСТУПЯТ В ПРОДАЖУ:

С. М. ГЕРАСИМОВ. Как читать радиосхемы.

В. В. ЕНЮТИН и Л. В. КУБАРКИН. Детекторные приемники.

В. В. ЕНЮТИН и А. С. ПОПОВ. Простой коротковолновой диапазонный приемник.

Л. В. КУБАРКИН и Б. Н. ХИТРОВ. Двухламповый сетевой супер РЛ-4.

Б. Н. ХИТРОВ. всеволновый супер.

В. В. ЕНЮТИН и Л. В. КУБАРКИН. Батарейный приемник О-У-I.

В. Ф. МАСАНОВ и Б. Н. ХИТРОВ. Радиостанция коротковолновика.

Б. Б. ГУРФИНКЕЛЬ. Растянутые диапазоны.

В. И. ШАМШУР. Радиолокация.